
Bruk av værdata i statistiske modeller for varsling av snøskred ved Strynefjellsveien

Knut Inge Orset



Hovedoppgave i naturgeografi

Institutt for geofag

Universitetet i Oslo

Høsten 2004

Sammendrag

En varslingsmodell har blitt utarbeidet for Sætreskardfjellet ved RV 15, Strynefjellsveien. Feltarbeid ble gjennomført vinteren 2002/03 der det ble logget snøtemperatur og gravd snøprofiler i ulike eksposisjoner og høydeintervaller. Snøen ble isoterm først i slutten av mars ved Fonnbu på 920 moh. Over 1000 moh. var det fortsatt temperaturer under 0 °C i hele snøpakka ved utgangen av mars. Snøprofilene ved Fonnbu viste store endringer mellom hver gang det ble gravd. Lagdelingen var vanskelig å kjenne igjen selv om snømengdene var stabile. I fjellssidene der profilene var mer spredt var det færre og mer homogene lag men likevel store forskjeller, både i snømengde hardhet og krystallform. Alle stabilitetstester som ble gravd gav få signaler om ustabile lag. Fraværet av skred indikerte at dette stemte, men så store variasjoner i snødekket gjør at en likevel ikke kan konkludere med at snødekket var stabilt over alt.

Vær og skreddata fra NGI sin forskningsstasjon Fonnbu ble studert for vintrene 1989/90 til 1999/00. Det ble benyttet logistisk regresjon på datasettet som bestod av 25 skredobservasjoner og 105 kontrollhendelser. Dette er lite brukt i snøskredsammenheng tidligere. 17 ulike værfaktorer ble analysert. Tre modeller ble utarbeidet med ulikt antall faktorer. Den enkleste med kun to faktorer, 3-døgnsnedbør og maksimal vindkasthastighet siste døgn fikk akseptabel signifikanssannsynlighet (bedre enn 5 %). De to andre modeller gav for usikre verdier. Den enkleste modellen ble sammenlignet med nedbørsmodell basert på kumulativ sannsynlighetsfordeling av 3-døgnsnedbør. Korrelasjonen viste r^2 på 0,82 og ved testing gjennom vinteren 1988/89 varslet begge modellene meget stor skredfare ved tre skred i Sætreskardfjellet. Det er likevel mange usikkerheter og muligheter til forbedring med en logistisk regresjonsmodell. Samtidig er det behov for mer data om snødekket og værdata fra løsnedområdet.

Forord

Denne oppgaven er en del av cand.scient. graden i naturgeografi ved Institutt for geofag, Universitetet i Oslo. Hovedveileder har vært professor Jon Ove Hagen og oppgaven er gitt av Frode Sandersen, avdelingsleder for ingeniørgeologi og skred på Norges Geotekniske Institutt (NGI), som også har vært biveileder.

Feltarbeid er finansiert av Institutt for geofag og NGI som har stilt forskningsstasjonen Fonnbu til disposisjon. Mange har bidratt under feltarbeidet. Dette har vært til stor hjelp og en forutsetning for å ivareta sikkerheten. Vil derfor takke Oddrun Brakstad, Webjørn Finsland, Steinar Bakkehøi, Kjetil Brattlien, Krister Kristensen, Sindre Vaagland, Espen Lie og Henning Urdahl.

For de tekniske utfordringene med utstyr til temperaturlogging og analysering av data har jeg fått uunnværlig hjelp av Kjetil Melvold og Thomas Schuler.

Under etterarbeid og ferdigstilling av resultater har mine veiledere Jon Ove og Frode bidratt og kommet med gode råd og tips. Har også fått god hjelp av professor Sven Ove Samuelsen ved den statistiske analysen. Ketil Isaksen på Meteorologisk institutt har også kommet med verdifull informasjon og gode råd angående analysen av meteorologiske data.

Jeg vil også få takke alle medstudenter for interessante diskusjoner og verdifulle tilbakemeldinger gjennom hovedfagstudiet.

Blindern, desember 2004

Knut Inge Orset

Innholdsliste

1. INNLEDNING	3
1.1. PROBLEMSTILLING.....	3
1.2. NGI OG SKREDSTASJONEN PÅ FONNBU.....	5
1.3. HVORFOR DET GÅR SKRED I SÆTRESKARDFJELLET	7
2. TEORI.....	9
2.1. SKYER OG NEDBØRSTYPER	9
2.2. NEDBØRSDANNELSE	11
2.3. METAMORFOSE I SNØ.....	14
2.3.1. Tørrsnømetamorfose	14
2.3.2. Våtsnømetamorfose	16
2.4. DANNELSE AV LAG I SNØEN, STABILITET I SNØDEKKET	16
2.5. KLASSIFISERING AV SNØSKRED	18
2.5.1. Løssnøskred.....	18
2.5.2. Flakskred.....	20
2.6. SKREDDYNAMIKK	23
2.7. MODELLER	25
2.8. STATISTISK ANALYSE AV GAMLE SKREDDATA	27
2.8.1. Logistisk regresjon	28
3. METODER	31
3.1. FELTARBEID PÅ FONNBU	31
3.1.1. Temperaturlogging.....	31
3.1.2. Graving av snøprofil	33
3.1.3. Observasjon av skred	38
3.2. ANALYSE AV GAMLE VÆRDATA.....	38
3.3. BRUK AV LOGISTISK REGRESJON.....	41
4. RESULTATER.....	45
4.1. ANALYSE AV GAMLE VÆRDATA.....	45
4.2. ESTIMERING AV VÆRFORHOLD I LØSNEOMRÅDET	46
4.3. FELTSESONGER PÅ FONNBU.....	50
4.3.1. Snøprofiler på testfeltet gjennom vinteren 2002/2003	50
4.3.2. Snødekket oppe i fjellsidene	54
4.4. VÆRDATA VINTEREN 2002/2003	57
4.5. LOGISTISK REGRESJON.....	62

5.	DISKUSJON	69
5.1.	SNØDEKKET	69
5.2.	SNØTEMPERATUR	73
5.3.	VÆRDATA	75
5.4.	SKREDDATA	76
5.5.	LOGISTISK REGRESJON	78
5.6.	SKREDVARSLER	81
6.	KONKLUSJON	85
7.	REFERANSER	87
	APPENDIKS	

1. Innledning

1.1. *Problemstilling*

Naturkatastrofer av forskjellig art ødelegger og fører til tap av menneskeliv til en hver tid. Snøskred er begrenset til en liten del av verden i forhold til mange andre naturkatastrofer, men likevel sett på som et alvorlig problem blant annet i Alpene og Norge. Selv om steinskred som genererer flodbølger har tatt flere menneskeliv i enkelthendelser som i Tafjord og Loen (Anda og Blikra, 1998) er snøskred den naturkatastrofen som har tatt flest menneskeliv i nyere tid. I Norge er det registrert 1255 omkomne som en følge av snøskred siden 1885, noe som gir et snitt på ca ni i året (Lied et al., 2003). Det som stiller snøskred i en særstilling er menneskenes påvirkning på både utløsning og kontroll av skredbanen. Dette gjelder hovedsakelig konstruksjoner som styrer skred, hinder de fra å løsne eller ved kunstig utløsning under kontrollerte former. Det faktum at de fleste som omkommer i skred også har løst ut skredet, eller frivillig beveger seg inn i farlige områder viser at mennesker i stor grad kan unngå denne type naturkatastrofer hvis nødvendige forhåndsregler blir tatt. Statistikk av skredoffer i Norge viser at det har skjedd en endring i aktiviteten som medfører dødsfall. Tall fra 1946 – 1972 viser 38 % omkomne som følge av friluftaktiviteter, mens tall fra 1972-1997 viser 55 % omkomne av samme grunn (Kristensen, 1998).

Det som ligger til grunn for å minimere både materielle og personskader uansett om det gjelder friluftaktiviteter eller ved veier og bebyggelse, er kartlegging av skredområder og gode skredvarsel, og ikke minst at disse varslene blir fulgt. Problemene med å varsle skred har derimot vist seg å være mange og av svært forskjellig karakter. For å kunne gi gode varsel trengs en del informasjon om værforhold, topografiske forhold, karakteristikk av snødekket og ikke minst en historisk oversikt over tidligere skredhendelser. Mange av parametrene er enkle å få oversikt over, mens for eksempel snødekket krever undersøkelser i felt. Innsamling av historiske data for kartlegging er tidkrevende og til dels unøyaktig. Selv om skredbaner ofte er synlige gir de lite informasjon om snømengder, hyppighet og tidspunkt.

I Norge har derfor varslingsmodeller i lengre tid vært brukt for å gjøre en mer generell vurdering av skredfaren over et større område, oftest basert på værddata. Dette gir som regel en god indikasjon og fungerer godt som generell informasjon for blant annet fjellfolk. Mer

detaljerte varsel er kun utarbeidet i områder der liv og helse står på spill og det finnes historiske skreddata. I Alpene er derimot mer avanserte modeller tatt i bruk for skredvarsling som både modellerer snøpakka og henter inn værdata fra meteorologiske stasjoner i fjellområdene (Bartelt og Lehning, 2002, Brun et al., 1992, Brun et al., 1989). Problemene har kommet når en ønsker å se nærmere inn på enkeltskred og varsle for et lite område. Dette krever selvfølgelig en mer inngående kjennskap til både lokalitet, vær, snøforhold og ikke minst historiske skreddata.

En slik problemstilling ble derfor skissert for denne oppgaven der snøskred fra Sætreskardfjellet ved Strynefjellsveien skulle studeres. RV 15 som passerer gjennom Grasdalen er stengt årlig på grunn av skredfare og flere ganger har kjøretøy kjørt i skredmassene, uten at det noen gang har vært personskade, (Larsson, 1990). Et ønske om bedre skredvarsel vil alltid være til stede så lenge ikke alle skred blir varslet, samtidig som veien ikke bør være stengt unødvendig. Bakkehøi (1986) har studert skredhendelser som et resultat av tre og femdøgnsnedbør for hver enkelt skredbane i dette området, der både vær og skreddata fra NGI sin forskningsstasjon på Fonnbu har blitt brukt. Målet var derfor å bruke den informasjonen som var tilgjengelig, samtidig som feltarbeid skulle gi detaljer om skredhendelser gjennom feltsesongen.

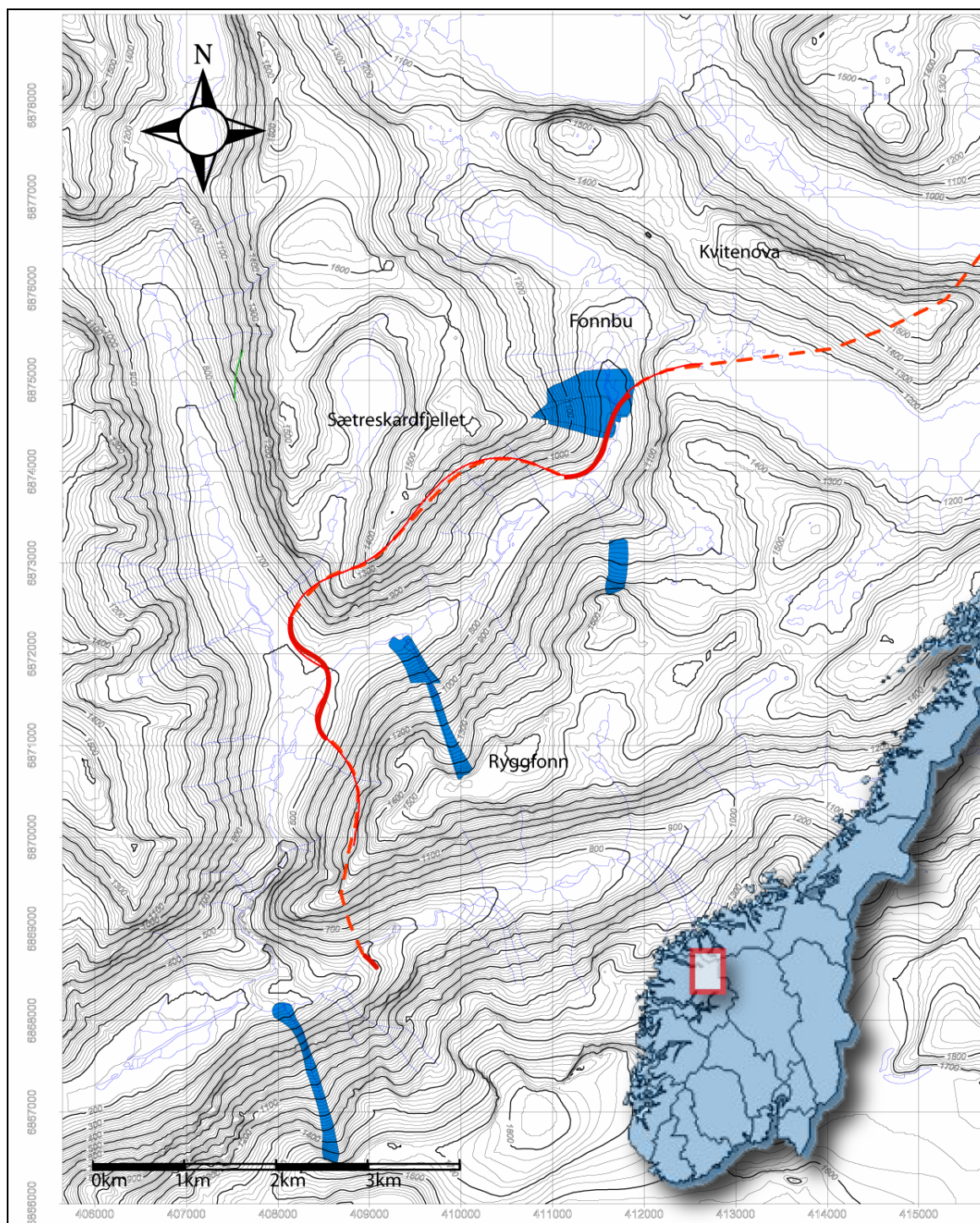
Til feltarbeidet ble det utarbeidet noen metoder for å kontrollere snødekkets utvikling gjennom vinteren. Dette ville innebære graving av snøprofiler i forskjellige høydenivåer og eksposisjoner. Bruddkantundersøkelser skulle gjøres hvis dette var forsvarlig. For måling av temperaturen i snøpakka ville data fra snøprofiler bli kombinert med bruk av en termistorstreng og datalogger. Historiske vær og skreddata skulle brukes til å danne grunnlaget for en varslingsmodell utarbeidet som et resultat av en statistisk analyse. I etterkant ville modellen vurderes opp mot andre brukte varslingsrutiner og ikke minst sammenlignes med mer generelle skredvarsel. Før en til slutt kunne vurdere om slike detaljvarsel gjør varslinga bedre eller om det skaper mer usikkerhet og flere faktorer å forholde seg til.

1.2. NGI og skredstasjonen på Fonnbu

NGI ble i 1973 tildelt ansvaret for snøskredforskning i Norge av stortinget. Dette hadde tidligere vært underlagt landbruksdepartementet (Kristensen, 1998, Lied, 1998). Grunnen var et ønske om et større miljø og spesialisering innenfor snøskredforskning, samt å tilby konsulenttjenester til instanser i samfunnet som har bruk for det. De tre viktige områdene det skulle fokuseres på var:

1. Hvor forekommer skred?
2. Hvilke vær og snøforhold gir skred?
3. Hvilke typer sikkerhetstiltak bør settes i verk for å verne menneskeliv og eiendom?

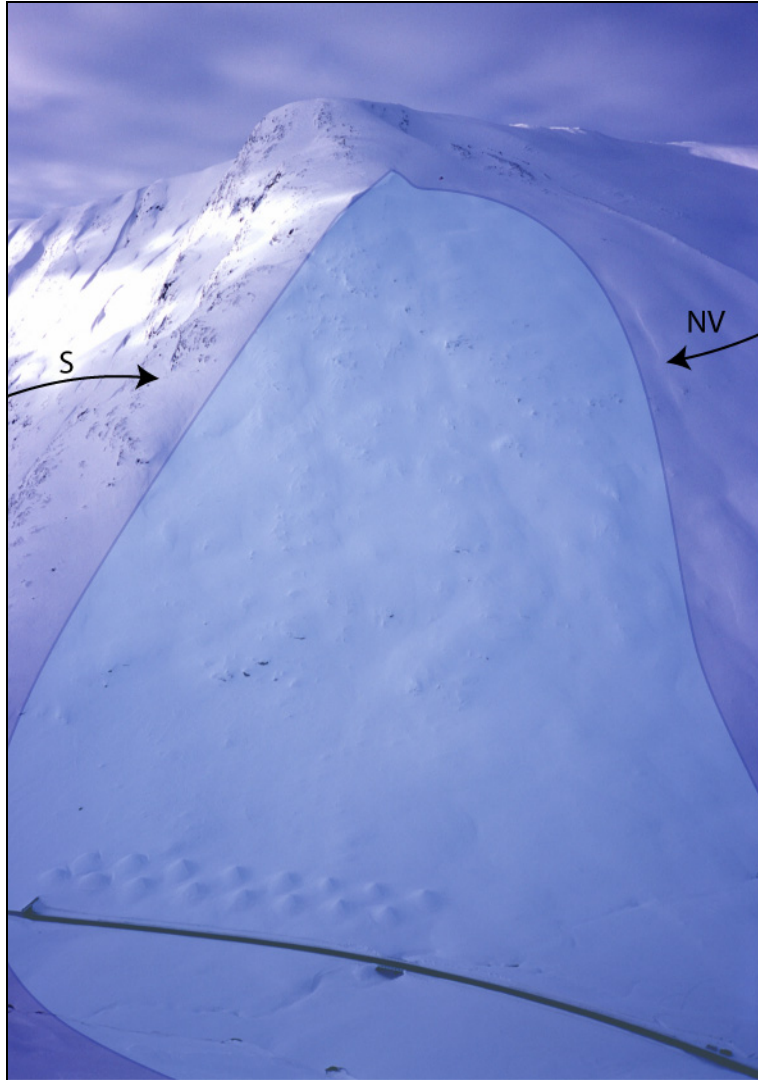
Som et resultat av NGI sin beliggenhet i Oslo, ble det bygd en forskningsstasjon i Grasdalen samtidig som Strynefjellsveien var under bygging. Dette gav lett tilgjengelighet og muligheter for skredforskning med direkte relevans mot veibygging og sikring av veier. Samtidig ble skredvarsling satt i høysetet for å ivareta sikkerheten på veien etter åpning. Fonnbu var bemannet i vintersesongen fra 1973 og fram til og med vinteren 1983/84. Registrering av skred, snødekkeundersøkelser og skredvarsling var blant oppgavene som ble gjennomført. Siden værstasjonen på Fonnbu ligger på ca 950 moh., ble det også bygget en stasjon på fjellet Kvitenova (1420 moh.) som skulle gi bedre informasjon om værforhold i løseområdene for mange av de aktuelle skredbanene. For forskning var likevel Sætreskardfjellet dårlig egnet siden skredbanen var lite avgrenset og hensynet til veien var vanskelig å kombinere. Ryggfonnprosjektet litt lengre ned i Grasdalen ble derfor satt i gang som testområde, se figur 1.1. I 1980 ble det bygget en 17 m høy voll i utløpsområdet og fjellsiden ellers ble instrumentert blant annet for å registrere trykkvirkninger i skredet og effekten av en slik voll for sikring (Lied, 1998). Dette prosjektet går fremdeles med automatisk logging av alle skred, både naturlige og sprengte. Selv om det er NGI som gir ut skredvarsel for Strynefjellsveien, har de ingen myndighet når det kommer til stenging. Dette har vegvesenet det fulle ansvar for. Det samme gjelder både sprenging i Sætreskardfjellet og andre skredbaner som er en trussel for veien. Flere ladninger blir lagt ut på høsten og kan fjernutløses. Sikring av veien er dermed ikke væravhengig med tanke på helikoptertransport eller lignende for å plassere sprengstoff.



Figur 1.1. Kart over Norge med detaljkart av Strynefjellsveien med en del kjente skredbaner tegnet inn og veien i rødt.

1.3. Hvorfor det går skred i Sætreskardfjellet

Området rundt Grasdalen er omgitt av fjell mellom 1600 og 1700 moh. Hele området er potensielt skredfarlig men det er hovedsakelig Sætreskardfjellet som ligger slik til at skred



berører vegen. Fjellsiden som gir skred over RV 15 har en nord-nordøstlig eksposisjon og akkumulerer dermed snø fra både sørvestlige og nordvestlige vinder. På figur 1.2 ses fjellsiden der maksimal skredutbredelse er skissert. Løsneområdet ligger i området under skavlen rundt 1300 moh. På sørsida av ryggen kan det gå mindre skred og et rasoverbygg beskytter veien. De fleste skred går inn i de sju meter høye kjeglene og begrenser antall skred som treffer veien.

Figur 1.2. Bilde av Sætreskardfjellet med inntegnet maksimal skredutbredelse (Foto K. I. Orset).

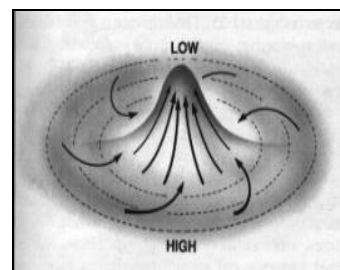
Nedbør i Grasdalen styres hovedsakelig av lavtrykksaktivitet i Atlanterhavet og gir oftest nedbør når vindretningen er mellom sørvest og nordvest. Gjennomsnittlig vinternedbør er i overkant av 800 mm (november-april) og snødekkets maksimale tykkelse varierer fra 1,3-4,7 m (Bakkehøi, 1986). Selv om varm luft gir temperaturer over 0 °C på Fonnbu i løpet av vinteren vil temperaturen i løsneområdet sjelden overstige smeltepunktet.

2. Teori

Det er viktig å kunne ha en forståelse av hvordan snø dannes og hvordan snødekket bygger seg opp i løpet av vinteren. Dette gjøres enklest ved å se på de fysiske egenskapene helt fra skydannelsen i atmosfæren, til snøen faller på bakken og omvandles i snøpakka. En kan da forstå hvordan stabiliteten endres i lagene gjennom vinteren. Dette vil også være utgangspunkt for å beskrive hvordan snøskred dannes, hvilke egenskaper snøskredet har mens det beveger seg og til slutt hvordan avsetningene dannes og opptrer i naturen. Der referanser ikke er oppgitt er teorien hentet fra McClung og Schaerer (1993).

2.1. Skyer og nedbørstyper

Skyer dannes som et resultat av overmettet luft med hensyn på vanndamp i atmosfæren. Dette kan skje på forskjellige måter som igjen gir nedbøren forskjellige egenskaper. Den grunnleggende mekanismen er vertikale vinder som på grunn av trykkforskjeller fører varm luft oppover. Avkjøling til høyere opp en kommer, gir etter hvert overmettet luft med hensyn på vanndamp. Dette skjer på fire forskjellige måter, se også tabell 2-1:

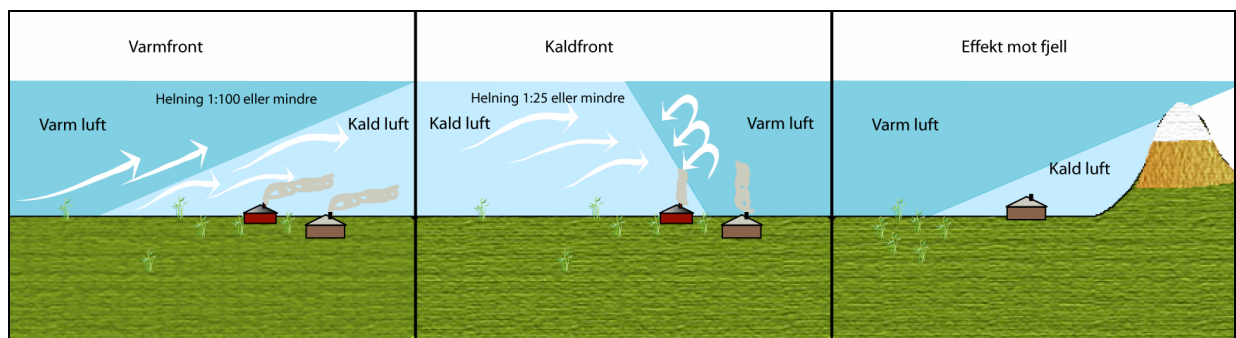


Figur 2.1 Konvergens rundt et lavtrykk.

- Syklonisk konvergens
- Frontløfting
- Orografisk løfting
- Konveksjon

Syklonisk konvergens:

Dette er sammentrykning rundt et lavtrykk, se figur 2.1. I et lavtrykksområde vil luft med høyere trykk bevege seg inn mot området med lavest trykk. På grunn av Corioliskraften vil ikke lufta bevege seg vinkelrett inn, men i en bevegelse med klokka på den nordlige halvkulen. Den vertikale løftingen som skjer på grunn av det lave trykket vil danne skyer og etter hvert nedbør. Dette er oftest store systemer dannet i havområdene og som beveger seg over større distanser.



Figur 2.2. Varm og kaldfront, etter McClung og Schaerer (1993).

Frontløfting

Kalde og varme fronter vil stadig vekk møttes og en kan da få løfting på forskjellige måter. Vanligst er at en varmfrent kolliderer med en kaldfront. Siden varm luft er lettere enn kald, vil den varme lufta stige. Typisk da er at den varme lufta blir presset over den kalde med en helning på ca 1/100, se figur 2.2. Varmlufta som løftes blir da avkjølt og det dannes skyer over et stort område med nedbør over lang tid. En kan også ha en situasjon der kald luft treffer varm luft og presses under. Her er helningen oftest rundt 1/25, nedbøren blir da konsentrert over et smalt område ved kollisjonen og varigheten kan være det halve, oftest med mer bygenedbør. Varmfronten kan også føre til all kaldluft blir sperret inne mot fjell eller i forsenkninger. Dette kan gi spesielle værforhold som underkjølt regn.

Orografisk løfting

Dette er en typisk nedbørsform i fjellområder. Fuktig luft blir ført mot fjellområder på grunn av horisontale trykkforskjeller. Når lufta blir presset oppover blir den avkjølt og overmettet slik at nedbør dannes. I de fleste tilfeller vil intensiteten bli forsterket til høyere skyene blir løftet og effekten vil øke med brattheten på fjellet. Størst effekt blir det også når vindretningen er vinkelrett på fjellsiden.

Konveksjon

Denne nedbørsformen er av mindre betydning om vinteren og opptrer i mer lokal skala. Luft blir oppvarmet nær overflaten, oftest i nærheten av åpent vann og stiger opp på grunn av lavere tetthet enn omkringliggende luft. Når den mettede lufta blir avkjølt, vil det dannes lokale kraftige regnskyll. Om vinteren kan det dannes slik nedbør langs kysten der havet er

varmt og kan bli forsterket av en orografisk effekt på grunn av kystfjell slik som på Vestlandet. I USA er dette kjent som "lake effect" (Aguado og Burt, 1999) der en kan oppleve kraftige snøfall nærme de store innsjøene når de er isfrie og vanntemperaturen relativt høy.

Tabell 2-1. Oversikt over de ulike nedbørstypene, hentet fra McClung og Schaerer (1993)

Type	Vertikal vindhastighet (cm/s)	Nedbørsintensitet (mm/t)	Nedbørslengde	Horisontal skala (km)
Syklonisk	1-10 cm/s	Opp til 2	Opptil flere dager	1000
Frontal	1-20 cm/s	1-10	Flere titalls timer	100 × 1000
Orografisk	1-200	1-5	Flere titalls timer	10-100
Konvektiv	100-1000	1-30	Minutt til timer	0,1-10

For kyststrøkene i Norge er det en kombinasjon av syklonisk konvergens og frontnedbør som ofte gir skredsituasjoner. Varm og fuktig atlantehavsluft møter den kalde polarlufta og danner en frontsoner med lavtrykk og nedbør. Kaldfronten ligger bak og tar igjen varmfronten. Nedbøren fra sørvest blir derfor ofte avløst av kaldere nedbør fra nordvest med overgang til bygenedbør (Lied et al., 2003), samtidig vil den orografiske effekten alltid virke i fjellområdene, men varierer mye ut fra de nevnte faktorer.

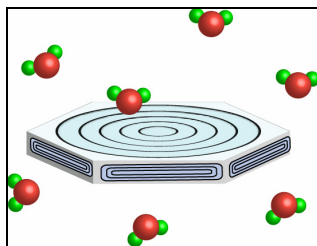
2.2. Nedbørsdannelse

Fra det stadiet der lufta i en sky er overmettet til nedbør lander på bakken, vil det være mange prosesser som virker. Siden ulike snøkrystaller vil oppføre seg ulikt i snøpakka er det viktig å ha kjennskap til hvordan og hvorfor de utvikler seg forskjellig. Siden dannelse av regndråper ikke er av samme interesse vil ikke det bli beskrevet her.

Den viktigste forutseningen for nedbørsdannelse er at lufta i skyen er overmettet med respekt på vanndamp. Grensen for overmetning avhenger eksponentielt med temperaturen. Det samme er tilfelle for vanndamptrykket som er atmosfæretrykket med respekt på vanndamp. I atmosfæren er det store mengder med små partikler, hovedsakelig bestående av salter, forurensning eller støv. Disse kondensasjonskjernene er veldig små, ca 10^{-6} m og siden lufta er overmettet vil vannmolekyler kondensere på disse og danne små skydråper som holder seg

svevende i skyen. Selv om temperaturen faller langt under 0 °C vil ikke vannmolekyler eller skydråper fryse direkte (superkalde dråper). Reint vil vann fryse først ved ca -40 °C (homogen frysing). Frysekjerner er derfor en nødvendighet hvis frysing skal skje ved høyere temperaturer. Dette vil være salter og andre partikler på samme måte som kondensasjonskjerner samt at det kan være allerede frosne ispartikler. Men siden iskrystaller vokser i en heksagonal form, kreves en spesiell molekyllstruktur for at partiklene kan fungere som frysekjerner. Det vil derfor være mye færre frysekjerner enn kondensasjonskjerner, ofte bare noen få pr cm³ (McClung og Schaerer, 1993). Når vannmolekylene først har funnet en frysekjerne (heterogen frysing), vil de fortsette å vokse der tre prosesser virker:

- Diffusjon
- Accretion, riming
- Aggregation



Figur 2.3. Vannmolekyler tiltrekkes en heksagonal flate, etter McClung og Schaerer (1993).

Diffusjon er prosessen som skjer først etter at det har dannet seg en krystall. Det er fortsatt mange superkalde skydråper som eksisterer sammen med krystallene fordi det er få frysekjerner. Vanndamptrykket er større over en skydråpe enn over en iskrystall fordi molekylene er bundet sterkere i et iskrystall. Dette fører til at det kreves en høyere overmetning over skydråpen enn over iskrystallen for at det skal være likevekt, dvs. verken sublimasjon eller kondensasjon. Ved en slik likevekt over skydråpen vil det være overmetning over krystallen og vannmolekyler vil kondensere på krystallen, se figur 2.3. Når dette har skjedd vil det ikke være

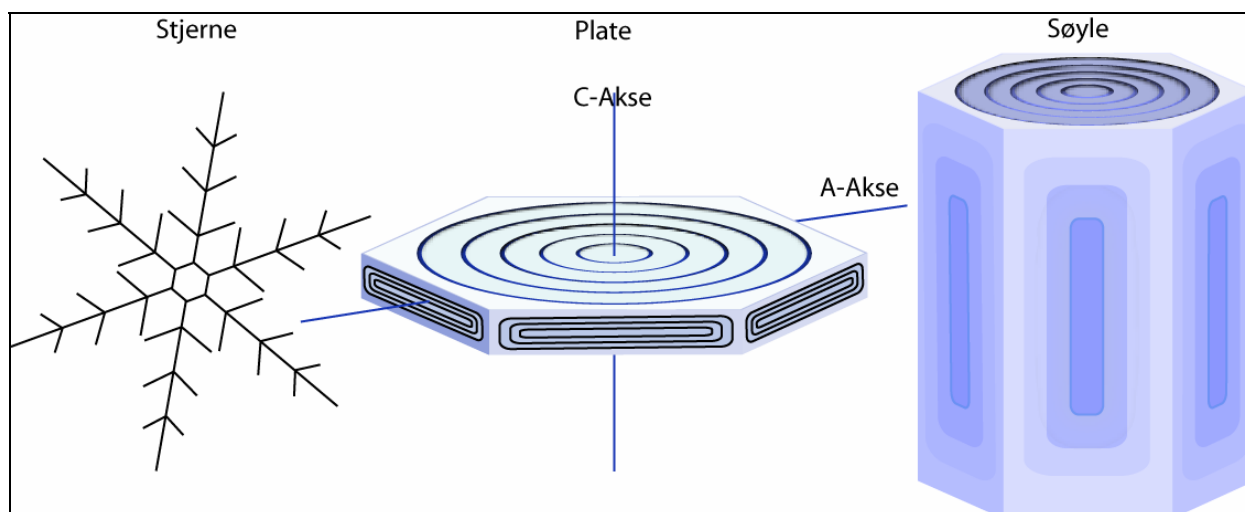
nok overmetning over skydråpen og sublimasjon vil finne sted, samtidig som det kondenserer mer på iskrystallen. Dette vil fortsette til det ikke er overmettet luft igjen eller at krystallen er så tung at den begynner å falle (Aguado og Burt, 1999).

Accretion eller riming skjer når det fallende snøkrystallet fungerer som en frysekjerne og treffer superkalde skydråper. Dette er en effektiv prosess for hurtig vekst og vil foregå så lenge krystallen treffer superkalde dråper.

Aggregation skjer når to krystaller treffer hverandre og danner en større. Temperatur nær $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ og tilstedeværelse av fritt vann gjør at krystallene festes bedre til hverandre. Dette skjer derfor i de lavere delene av en sky og nær bakken. Det er derfor ved ca $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ en oftest opplever å få de største snøflakene.

Former på snøkrystaller

Hvordan krystallene vokser og utvikler seg kan illustreres med figur 2.4, der man ser på



Figur 2.4. Skjematisk tegning av et snøkrystall. Modifisert fra McClung og Schaerer (1993).

forholdet mellom temperatur og vanndamp tetthet over iskrystallens overflate. Klassifikasjon av nysnøkrystaller kan gjøres på forskjellige måter, avhengig av hvor detaljerte undersøkelser en ønsker å gjøre. Den enkleste ser kun på nysnø eller ikke, i en mer detaljert oversikt deles krystallene inn i åtte, der tre av de ikke er typiske krystaller, se neste avsnitt. Disse klassene kan gjenkjennes med lupe (ICSI standarden). Det høyeste nivået er lite egnet for skredstudier da hele 80 klasser er beskrevet. Krystaller vokser ulikt avhengig av temperatur og overskudd av vanndamp tetthet og det veksler på a-akse vekst og c-akse vekst avhengig av temperatur. Ved lav vanndamp tetthet formes runde former, mens mer kantete formes ved høy vanndamp tetthet (McClung og Schaerer, 1993).

Graupel og Hagl

Graupel er former for snøkrystaller som har gjennomgått en så kraftig riming at all heksagonal struktur er forsvunnet. Dette forutsetter lang vekst, enten ved at skyene er høye eller på grunn av termisk konveksjon som fører til en opp og nedadgående bevegelse som gir lang voksetid. Graupel blir dannet utelukkende i en kald sky med superkalde skydråper, mens hagl dannes i et miljø som skifter mellom kaldt og varmt. Dette gir en annen struktur i

haglens med en tydelig lagdeling mellom is og snø. Hagl og graupel vil derfor få et helt annet forhold mellom volum og areal enn et vanlig krystall. En mer sjelden form er rene isdråper som består av frosset regn og som oppstår kun ved spesielle værforhold. Disse formene har mye høyere fallhastigheter, opptil 10 m/s, i motsetning til krystaller som gjennomsnittlig faller en m/s (McClung og Schaerer, 1993).

2.3. Metamorfose i snø

Metamorfose er forvandling av snøkrystall. Hovedsakelig blir krystaller rundet og de større vokser på bekostning av de små. I det krystallene lander på bakken starter metamorfosen fordi den da ikke er i et overmettet miljø (med hensyn på vanndamp) som i atmosfæren. Hvor fort dette skjer og hvilke prosesser som virker er avhengig av mange faktorer. Blant annet er forholdet mellom overflate og volum viktig. De mest ustabile krystallene har stor overflate og lite volum. I et slik miljø er faktorer som virker inn blant annet trykk og temperatur, der trykk har mindre betydning i et snødekke som bare varer en vinter på grunn av tykkelsen. Metamorfosen blir vanligvis delt opp i to hovedgrupper:

- Tørresnømetamorfose
- Våtsnømetamorfose.

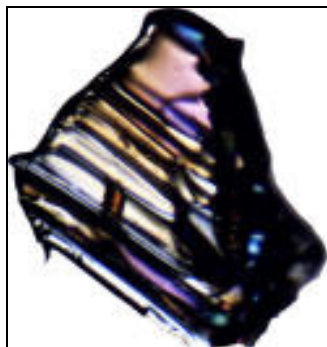
2.3.1. Tørresnømetamorfose

Det er to typer tørresnømetamorfose, nedbrytende og oppbyggende. Førstnevnte er nysnøkrystaller med stor overflate i forhold til volum. Krystallene brytes ned fordi vanndamptrykket er større over konvekse flater enn over konkave. Det skjer sublimasjon ved spissene og kondensasjon ved sentrum av krystallen. Overflaten blir mindre og volumet øker og dermed blir krystallene liggende tettere. Dette er sterkt temperaturavhengig og lav temperatur fører til at metamorfosen går seint.

Ved en oppbyggende metamorfose, også kalt temperaturgradientmetamorfose, vil det være andre prosesser som virker. Selv om det ikke er fritt vann til stede og temperaturen er lavere enn 0 °C vil det være vanndamp i porene mellom snøkrystallene. Kombinert med temperaturforskjeller vil det skje en varmekraft i snøpakka fra varmt til kaldt. Vanlig er at snøen ved bunnen er nær 0 °C (når det ikke er permafrost) grunnet geotermal varme. Denne lufta inneholder da mer vanndamp og har større vanndamptrykk enn lufta lengre opp.

Forskjellene i vanndamptrykk fører til bevegelse mot områder med lavere trykk. På vei oppover vil lufta bli avkjølt og vannmolekyl kondenserer på snøkrystall. Hvilke snøkrystall som blir dannet og hvor fort de vokser avhenger av tre faktorer:

- Temperaturgradient
- Temperatur
- Poreromstørrelse



Figur 2.5. Bilde av begekristall tatt med polariserende lys. Krystallen er ca fire cm i diameter. Hentet fra www.icess.ucsb.edu

Stor temperaturgradient, høy temperatur og stort porevolum gir den høyeste voksehastigheten og vil danne begekristaller under gunstige forhold, se figur 2.5. Snølaget får derfor liten tetthet og hardhet fordi krystallene er hule inni. En generell verdi er temperaturgradient på 10 °C/m eller mer (McClung og Schaerer, 1993). Til høyere voksehastigheten er til mer ustabil blir også snølaget. Krystallene vil stå den veien figuren viser og vokse nedover. Store porevolum er også gunstig for dannelse av begekristall.

Sintring

Metamorfose i kald snø består ikke bare av oppbyggende og nedbrytende prosesser. En viktig faktor er også hvordan de enkelte krystallene fester seg til hverandre. Denne sintringa er et mål på hvor mange bånd eller isbroer det finnes pr volumenhet. Det er da to faktorer som virker inn, størrelsen på hvert krystall og antall bånd mellom hvert krystall. Til flere bånd jo mer stabil er snøen. Dannelsen av slike bånd skjer som en følge av forskjeller i vanndamptrykk mellom konvekse og konkave flater på samme måte som nedbrytende metamorfose. Dette er kjent som en langsom prosess, men under pålagring av snø kan dette skje raskt (Schweizer, 1999). Ved høy temperaturgradient og begekristalldannelse vil bånd mellom krystallene bli brutt og de nye båndene som blir dannet ha mindre styrke på grunn av større krystaller og dermed færre bånd pr volumenhet.

2.3.2. Våtsnømetamorfose

Når temperaturen i lufta kommer over 0 °C vil også snøtemperaturen stige mot 0 °C, oftest som et resultat av vann som perkolerer ned fra overflata, refryser og avgir varme. Graden av fritt vann varierer, det samme gjør egenskapene til snøen. Lavere enn 4 % vanninnhold gir snøen en kram konsistens uten at det er mulig å presse vann ut av den. Vannet ligger da som en film rundt hver enkelt snøkrystall. Snø med opp til 15 % vanninnhold har fritt vann mellom snøkrystallene og vann renner ut av snøen ved sammentrykning. Over 15 % vanninnhold fører til at vann renner ut av snøen av seg selv. Temperaturen i våt snø skulle en forvente er isotherm, dvs. 0 °C. Likevel har det vist seg at det er en minimal temperaturforskjell i snøpakka (Lied et al., 2003, McClung og Schaerer, 1993). Trykket over hver enkelt partikkel i snøpakka avhenger også her av krumningen og at vanndamptrykket over vann er større enn over is. En stor krystall har derfor høyere smeltepunkt enn en liten. Dette fører til at de små smelter mens de store vokser. De oppbyggende og nedbrytende prosesser virker samtidig her.

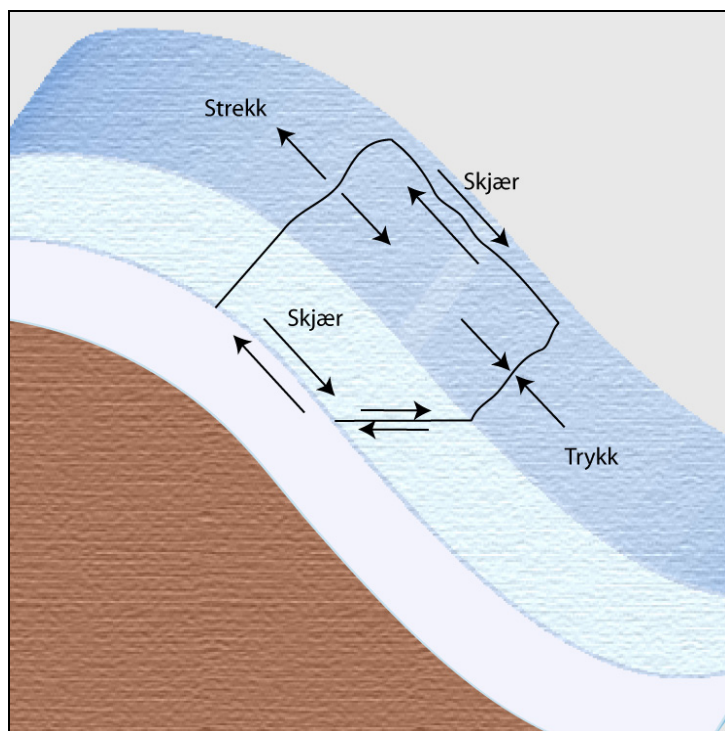
2.4. *Dannelse av lag i snøen, stabilitet i snødekket*

For at det skal bli en skredsituasjon er det ikke nok at det har skjedd en deformasjon i snøen. Det må være forskjell på styrken til de enkelte lagene i snøpakka. Dette avhenger i stor grad av de gjeldene værforhold da snøen ble avsatt og før den ble begravd av nye lag med snø. En vil ikke finne en homogen snøpakke uten lagdeling før langt utpå våren når våtsnømetamorfosen har ødelagt alle lag. De lagene som en finner i snøpakka vil derfor til en viss grad gjenspeile både været gjennom vinteren og været den aktuelle dagen med snøfall. Disse lagene og forskjellene mellom dem vil gi ustabilitet i snødekket.

Bevegelse i snøpakka

Snøpakka er under konstant bevegelse gjennom vinteren. Og selv om dette ikke dreier seg om store forflytninger av snø, er det store indre krefter som settes i sving. Disse virker i alle retninger og vil derfor skape spenninger i snøen som under gitte betingelser vil føre til snøskred. Kreftene som virker i de forskjellige retningene er:

- Tøyning / strekk
- Kompresjon
- Skjær

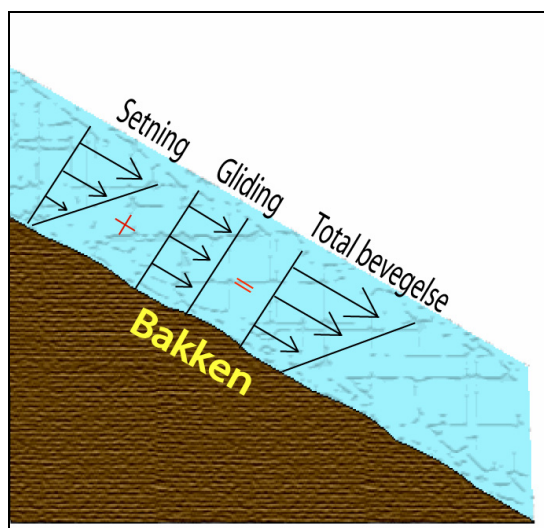


Figur 2.6. Kraftene som virker i snøpakka. Fra Lied et al. (2003).

Disse opptrer som regel samtidig. Tøyning er når korn beveger seg bort fra hverandre. Dette skjer ofte over konvekse områder eller der en større snømengde strekker på snøen lengre oppe, se figur 2.6. Kompresjon er når korn blir trykket sammen. Dette skjer i konkave områder som ofte opplever et trykk fra overliggende snø. Skjærstresset mellom det øvre flaket og glidelaget under er den viktigste faktoren ved skredsituasjoner. Skjærstyrken til snøen vil derfor si noe om hvor stor belastning som skal til før det skjer et brudd. Skjærstyrken vil

også forandre seg ettersom snøen blir deformert.

Det vil alltid være en bevegelse i snøen som et resultat av deformasjon og helning på



Figur 2.7. Effekt av snøsiget i snøpakka. Etter Lied et al. (2003).

underlaget i snøskredområder. Denne bevegelsen, beskrevet som setning av snødekket, vil føre til en tetthetsøkning i snøen gjennom vinteren. Tetthetsøkningen skyldes i all hovedsak redistribusjon av snøkrystaller (90 %) og mekanisk deformasjon (10 %) (McClung og Schaerer, 1993). Dette er avhengig av vekt på overliggende snø foruten snøkrystallenes egenskaper. For begerkrystaller vil ikke dette gjelde, og tettheten vil være stabil gjennom vinteren (forutsatt at det ikke kommer inn fritt vann som refryser). Setningen av snøpakka skjer i to retninger. Den vertikale komponenten vil

alltid presse snømassene nedover slik at de komprimeres og tettheten øker. I hellende terreng vil det også virke en komponent parallelt med snølagene. Denne skaper skjærspenninger som er av stor betydning for skreddannelse, se figur 2.7. Disse faktorene virker derfor mot hverandre siden en kompresjon av snøen vil gi økt stabilitet, samtidig som økt skjærstress skaper ustabilitet. Når helningen kommer opp i 40-50° vil skjærdeformasjon være dominerende og sjansen for skred er stor (Lied et al., 2003).

Snø som glir er et fenomen som oftest blir observert på våren eller under mildvær. Dette skjer når hele snøpakka glir mot underlaget på grunn av lav friksjon. De faktorer som bestemmer glidingen er hovedsakelig plane flater (is, gressbakke eller blankt berg), temperaturen i utglidingslaget er 0°C som medfører at det er fritt vann til stede og en helning på mer enn ca 15° eller brattere. Denne formen for massebevegelse kan ha en hastighet på 1-100 mm pr dag, avhengig av de nevnte faktorer (Lied et al., 2003). En kan også få et brudd der hele snøpakka løsner og danner skred, noe som en ofte observerer om våren i fjellet over bart berg.

2.5. Klassifisering av snøskred

Det er to hovedinndelinger av snøskred, løssnøskred og flakskred. Det er både løsnemekanismer og formen på selve skredet som er forskjellig.

2.5.1. Løssnøskred

Løssnøskred starter i et punkt og brer seg utover i vifteform. Rasene omfatter som regel kun det øverste laget med snø, blir sjelden store og skjer i bratt terreng. Dannelse av løssnøskred skjer når kohesjonen mellom snøkrystaller avtar, oftest som et resultat av metamorfose eller økt vanninnhold i snøen.

Løssnøskred forekommer både i tørr og i våt snø. I kaldt vær vil krystallene som utvikles ha stor overflate i forhold til volum. Kohesjonen mellom krystallene er liten, samtidig som formen gjør at de kan feste seg i terreng opp til 80 grader. I kaldt klima med lite vind vil metamorfose gå langsomt, strukturen og tettheten vil derfor endres sent og sjansen for løssnøskred vil være til stede over lengre tid. En kan da få løssnøskred i svært bratte skråninger, og en liten temperaturstigning som resultat av solinnstråling eller regn vil gi den nødvendige reduksjon i kohesjonen som skal til. For våt snø er ikke kravet til bratthet like viktig. Her vil et økende vanninnhold gi lavere kohesjon. Dette skjer som regel i forbindelse

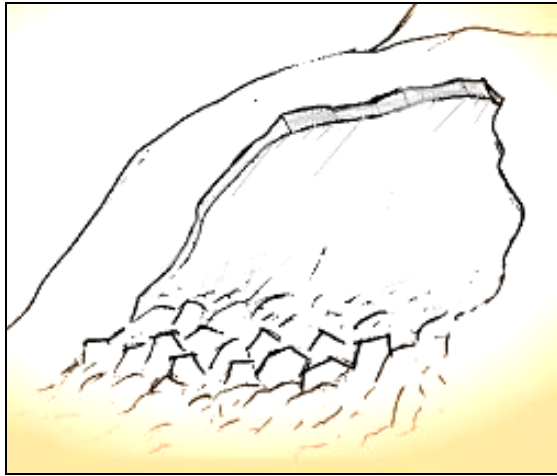
med regnvær eller kraftig solinnstråling. Forskjellen på nysnø og omdannet snø er også av betydning siden nysnø trenger mindre vanninnhold for å miste kohesjon enn omdannet snø (McClung og Schaerer, 1993). Med stort nok vanninnhold vil skred bli utløst i terreng slakkere enn 15 grader. Skillet mellom flaskred og løssnøskred er ofte flytende når snøen er våt siden skred med slik snø ikke bare omfatter de øverste lagene og kan bli relativt store.

For hver enkelt snøtype kan det derfor defineres en statisk friksjonsvinkel som sier noe om hvor stor vinkel som skal til for at snøen mister kohesjonen og begynner å bevege seg. Samtidig kan man finne en kinetisk friksjonskoeffisient som sier når massen som er i bevegelse begynner å miste fart. Laboratorieøvelser har vist at den kinetiske friksjonskoeffisienten er ca 10 grader mindre enn den statiske friksjonsvinkelen (McClung og Schaerer, 1993).

Det vil derfor være av stor betydning hvordan krystallene har utviklet seg i atmosfæren. De vanlige sekskantede stjernekrystallene som vokser i overmettede omgivelser gir snøen en veldig liten tetthet og dermed liten kohesjon samtidig som den fester seg der det er brattest. Det skal ikke store værskifte til før kohesjonen endres og løssnøskred opptrer. I den motsatte enden av skalaen finnes sterkt rimede krystaller som hagl og graupel. Disse vil aldri kunne feste seg i like bratt terreng som heksagonale krystaller, ofte bare opp til 35 grader. Hagl kommer ofte i store mengder på kort til og vil være mest ustabile i denne fasen (hvis de ikke blir begravd og fungerer som glidelag i flaskred, se neste kapittel). Dette medfører at til større den statiske friksjonsvinkelen er, til mindre blir skredene. Her vil det lagres mindre snø mellom hver gang det raser.

Lag som ligger dypere der det har foregått metamorfose og deformasjon vil derfor ikke bli påvirket av slike skred annet enn kanskje litt erosjon der skredet har størst fart. Det har også vist seg at løssnøskred ofte ikke blir utløst før noen dager etter snøfall, sannsynligvis på grunn av at et tidlig stadium av metamorfosen gir krystallene lavere kohesjon (McClung og Schaerer, 1993). På grunn av at disse skredene er små og oftest opptrer der det er så bratt at folk og konstruksjoner ikke blir berørt, har de verken blitt forsket på eller registrert i større grad.

2.5.2. Flakskred



Figur 2.8. En standard flakskredsituasjon.

Flakskred er den viktigste snøskredtypen, både når det gjelder størrelse, hyppighet og farlighet. Det som kjennetegner et flakskred er en markert bruddkant normalt på overflaten, helning over 30 grader i løsneområdet og som regel en utbredelse som er breiere enn lengden på flaket som løsner. Siden et flakskred glir på et annet lag vil det ha klarere avgrensninger enn et løssnøskred. Disse er skissert på figur 2.8.

De viktigste faktorer som påvirker et flakskred er beskrevet under:

- Helning

Den vanlige løsnevinkelen for flakskred er mellom 25 og 55 grader. Mindre helning gir ikke høyt nok skjær og deformasjon for brudd. I større helning vil det normalt gå hyppige løssnøskred som hindrer en oppbygging av snø som gir flakskred. Flest skred går i bratthet mellom 35 og 40 grader. I spesielle tilfeller kan det også gå skred utenfor den vanlige løsnevinkelen (McClung og Schaerer, 1993).

- Bruddkant

Hyppigste bruddkanthøyde er fra 25-100 cm, men dette varierer fra noen cm opp til 2 m. Ekstreme bruddkanter opp til seks meter er registrert, men da med løsnemekanismer som jordskjelv, bruk av sprengstoff, store skavlnefall eller helt spesielle værforhold. Under den ekstreme snøvinteren i alpine i 1998/99, ble det målt bruddkanter på fem meter (SFISAR, 2000).

- Hardhet

Hardhet er en av de viktigste faktorer ved de enkelte lags egenskaper. Flaket kan ha sterkt varierende hardhet og lav hardhet (knyttneve og 4 fingre) blir kalt løse flakskred, der flaket brytes opp og opptrer som en løs masse. Høy hardhet (1 finger og blyant) fører til at flaket blir

sprøere og ikke brekker opp på samme måte (se metoder for beskrivelse). Brudd sprer seg derfor fort utover og skredene blir ofte store. For det svake laget vil hardheten omtrent alltid være lavere enn flaket (det er derfor det blir et svakt lag). Svake lag med høy hardhet vil være potensielt farlige for større skred fordi det bygges opp mye snø før det skjer brudd. Det store problemet med slike lag er tykkelsen. De kan ofte være bare en millimeter tykt og derfor vanskelig å oppdage ved en håndtest.

- Tetthet

Tettheten sier mye om deformasjon og metamorfose i de ulike lag. Den hyppigste målte tetthet i flaket er mellom 100-300 kg/m³. Det innebærer vindtransportert eller metamorfisert snø. Siden det svake laget ligger under flaket, vil dette normalt ha større tetthet, dette har vist seg i 75 % av tilfellene som ble studert (McClung og Schaerer, 1993). Det vil i de fleste tilfeller være vanskelig å måle dette laget på grunn av tykkelsen.

- Temperatur

Temperaturen varierer over et stort intervall. Vesentlig er at tynne skred har en lavere temp ved bunnen enn tykke, grunnet både at kuldebølgen trenger sakte ned fra overflaten og geotermisk varme fra bakken. Generelt blir skredene færre og mindre med avtagende temperatur, ofte som et resultat av kaldt klart vær uten vindaktivitet. Deformasjonshastigheten blir lavere og snøen stivere.

Faktorer som form på flaket, underlaget og størrelse er vanskelig å klassifisere siden en kan finne alle mulige former avhengig av blant annet topografi og klima.

Dannelse av supersvake soner i snøen

Lagene i snøen har forskjellig styrke, avhengig av blant annet hardhet og krystallform. Dette skaper sterkere og svakere lag. Men både forsøk og modellering har vist at disse faktorene i mange tilfeller ikke er nok til at skred utløses når de gjør. Målinger viser at deformasjonshastighetene ofte er bare 1/10 av det som skal til for å skape brudd (Lied et al., 2003). Det ble derfor framsatt en teori om at det fantes svake lag innenfor det svake laget omtrent helt uten skjærstyrke mot glidelaget. Dette skjedde allerede på 60 tallet (Haefeli, 1963, Haefeli, 1967) og har senere blitt omtalt under forskjellige navn og med forskjellige forklaringer, men supersvake soner eller hotspots er de vanligste betegnelse. Skjærstresset fra flaket blir derfor fordelt over færre område enn om det svake laget var homogent. Siden

det blir få punkter som har kontakt mellom flaket og glidelaget, vil det bli et mye større skjærstress rundt kanten av disse supersvake sonene. Ved tileggsbelastninger kan et område bli belastet og dermed kan flere supersvake soner slå seg sammen som øker skjærspenningene ytterligere. Dette vil også forklare at det ikke er nødvendigvis første skikjører som utløser skred, men den tredje eller fjerde da det supersvake laget blir så stort at skjærstresset fra flaket overskrider skjærstyrken til det svake laget (Landrø, 2002).

Dannelse av tørre flakskred.

Den viktigste løsnemekanismen er pålagring av snø enten som nedbør eller vindtransport. Siden 90 % av rasene har en tetthet mellom $100\text{--}300\text{ kg/m}^3$, er det ikke nysnø som faller rett ned som er viktigste løsnemekanismen (der tetthet ofte er $<100\text{ kg/m}^3$). Temperatur kan også være en årsak til skred. En økende temperatur vil gi en avtagende stivhet i snøen. Men siden konduktiviteten i snø er veldig dårlig, vil dette kun påvirke de øvre lag i snøen og bruddkantene blir sjelden dype. Oftest vil det derfor være en kombinasjon av de nevnte faktorer som medfører skred.

Kollaps skjer når den vertikale komponenten av flakets vekt overstiger skjærstyrken til det svake laget under. Om det da skjer et brudd avhenger av en hurtig deformasjon i det svake laget. Det er altså to kriterier som må være oppfylt før det skjer en bevegelse:

1. Skjærstresset i flaket må overstige skjærstyrken i det svake laget.
2. Deformasjonsraten i det svake laget må være hurtig nok for å frambringe brudd.

Hvis kun faktor en er innfridd, får en den velkjente dønningen i snøen der det svake laget kollapser og lufta blir presset ut. At den hurtige deformasjonen kan skje når en skiløper kommer og belaster flaket er lett å forstå, vanskeligere er det når kun pålagring av ny snø er grunnen.

Dannelse av våte flakskred

Det er tre forhold som fremprovoserer våte flakskred:

1. Pålagring av ny nedbør (regn).
2. Endring i styrke av et svakere lag på grunn av vann.
3. Vann fungerer som smøring på en glideflate.

Når det regner på tørr snø vil vann perkolere og refryse slik at latent varme frigis. Snøpakka når derfor 0 °C veldig fort i forhold til når det kun er konduktivitet som er varmetransportør, men det er sannsynligvis den økende vekten som er utløsningsmekanismen (McClung og Schaerer, 1993). Det svake laget vil få redusert styrke med økende vanninnhold, men samtidig kreves det mer energi for å skape brudd i våt snø. Når vann fungerer som smøring mot en glideflate er dette enten bakken eller et islag. Økt vanninnhold gir lavere friksjon og en lettere utløsning.

Andre former for skred

Isskred skjer i forbindelse med at deler av brefronter løsner i bratte fjellsider. Her er det både isen som forårsaker skade direkte eller indirekte ved oppdemming av vann, utløsning av leirskred og lignende. Dette er et lite problem i Norge. Slushskred får en der snøen er metta og til dels overmettet med vann. Dette skjer på grunn av frost i bakken slik at all avrenning skjer på overflata. Disse forekommer relativt sjelden, men kan være alvorlige og uventede, hovedsakelig fordi de skjer i områder der det går få skred ellers. Løsnevinkler kan være under 15 grader.

En av løsnemekanismene for flaskred er skavlnefall. Dette kan dreie seg om store mengder som i seg selv kan gjøre stor skade.

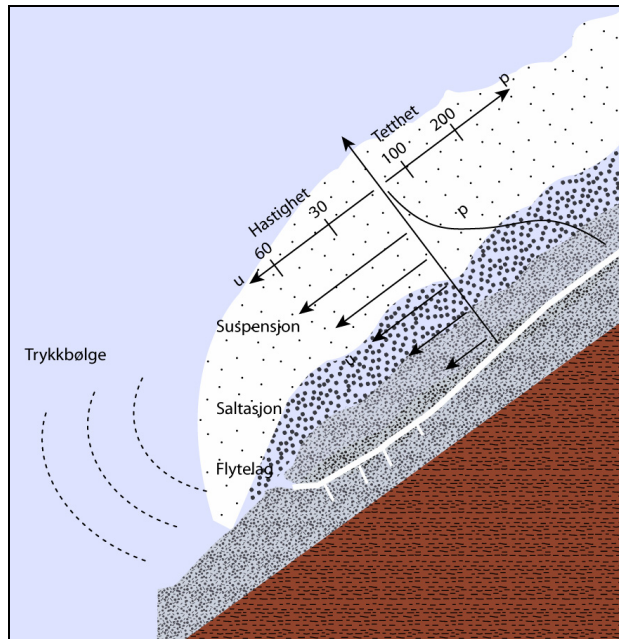
2.6. Skreddynamikk

En viktig faktor ved skredstudier er hvordan skred oppfører seg fra de blir utløst til de stopper. Her er det flaskred som blir beskrevet. Bevegelsen kan deles inn i tre faser (Norem, 1992):

1. Akselerasjonsfasen
2. Den stabile fasen
3. Retardasjonsfasen

I akselerasjonsfasen øker farten samtidig som flaket brytes opp i små biter. Dette tar lengst tid for harde flaskred. Typisk diameter er 1-10 mm (Norem, 1992). I våte skred dannes det ofte snøballer med en diameter på 5-50 cm. Skjærstresset mot underlaget endrer seg med hastigheten og overliggende vekt. Samtidig er det en hastighetsforskjell mellom de øvre lag av skredet og den stillestående lufta over. Ved hastigheter over ca 10 m/s i tørre skred, vil skjærstresset mot snøen bli så stort at partikler kan bli plukket opp og holdt i suspensjon og en vil da se den karakteristiske snøskyen (McClung og Schaerer, 1993).

I den stabile fasen består skredet av minst to markerte lag, (Norem, 1992). Bunnlaget med høy partikkeltetthet, ca 1/3 snø og 2/3 luft, og en snøsky som består av partikler i suspensjon, ca 99 % luft (McClung og Schaerer, 1993).



Figur 2.9. Skredbevegelse. Etter Lied et al. (2003)

Bunnlag med høyt skjærstress vil ofte ha en eroderende effekt som øker skredets volum, samtidig som det mister energi når nye partikler skal akselerere. Dette kan også være en av grunnene til at skredet har relativt stabil fart i en periode. Observasjoner og målinger av større skred har vist at skredet kan deles inn i tre lag. Glidelag, saltasjonslag og suspensjonslag (Lied et al., 2003), se figur 2.9. Glidelaget har en tykkelse opptil tre til fem meter, saltasjonslaget kan ha en tykkelse på noen meter, mens suspensjonslaget kan være flere titalls meter hvis snøen er tørr. I

mindre skred vil en oftest kun observere det glidende laget da fart, størrelse, mengde og høydeforskjell er av mindre skala.

I retardasjonsfasen er skjærstresset på bunnen høyere enn gravitasjonen. Dette skjer ved en helning på underlaget på ca 10°. Denne vinkelen er også kalt betavinkelen og inngår i NGI sin topografiske/statistiske modell for beregning av utløpsdistanser (Lied og Bakkehøi, 1980, Lied et al., 2003). Friksjonen mellom partikler vil da avta raskt og det frie vannet som friksjonen har skapt vil refryse sammen med snøpartiklene, noe som gjør rasmaterialet spesielt tungt å arbeide i (McClung og Schaerer, 1993). Den hurtige retardasjonen påvirker ikke den overliggende snøskyen på samme måte som derfor fortsetter mye lengre enn bunnmaterialet i utløpssonen. Snøskyen vil ha to farlige effekter. Lufttrykket vil skape kraftig vind som kan ødelegge alt som står i veien. Dette vil også forekomme foran den synlige snøskyen fordi mye luft blir satt i bevegelse. Snøkrystallene i seg selv er også farlige fordi de kan forårsake kvelning, eller trenge inn i hus og gjøre skade. Likevel vil en aldri oppleve det samme trykket fra en snøsky som fra snømassene i selve skredet. Dette fordi tettheten er mye mindre i suspendert materiale enn i flytelaget, og selv om hastigheten er kvadrert, vil ikke

dette kompensere for tetthetsforskjellene. Dette ser en ut fra formel 2-1, etter Lied et al. (2003) som beskriver trykket mot en vegg som står vinkelrett på skredet.

$$P = \rho * v^2 (\text{Pa})$$

Formel 2-1

Der P er trykk, ρ er tetthet og v er hastighet.

2.7. Modeller

Opp gjennom årene har det blitt utarbeidet mange modeller for varsling av snøskred. Målet har i all hovedsak gått ut på å få et mest mulig nøyaktig varsel med minst mulig data inn, samtidig som det er ønskelig å varsle for et stort område. Det er fire tilnærmelser for hvordan en kan beskrive ulike typer for varsling eller modeller, etter Föhn (1998).

- Konvensjonell metode (synoptisk). En vanlig subjektiv vurderingsmetode av en person som baserer seg på både erfaring og gitte retningslinjer, for eksempel den internasjonale skredfareskalaen. Slik varsling vil ha problem med hurtige værskeftninger som ikke er ventet, men på grunn av at den er så simpel vil den alltid være den mest brukte varslingsmetoden.

- Statistisk metode krever en viss mengde datamateriale, både vær og skreddata. Dette gjør at det er tidkrevende og vanskelig å kunne gjøre gode beregninger. Et viktig moment har vært å skille mellom skreddag og ikke skreddag for å forenkle beregningene. Det vanligste i Norge har vært å bruke en nærmeste nabo modell, se beskrivelse nedenfor. Statistikk kan brukes på mange måter og tilpasses de fleste problemer. Siden statistikk dreier seg om sannsynlighet på grunnlag av tidligere hendelser vil ikke spesielle og uventende situasjoner kunne varsles godt nok.

- Deterministiske modeller forsøker å modellere snøpakka gjennom hele vinteren med en mengde værparametre og en terrengmodell som datagrunnlag. Her er det ikke nødvendig med snømålinger ute i felt. Vindpåvirkning og dannelsen av for eksempel overflaterim har vært vanskelig å modellere og modellene er derfor ikke gode nok for nøyaktig snøskredvarslig enda.

- Ekspertsystem er datasimulering som skal analysere alle tenkelige input som en person i teorien kan ta. Dette innebærer blant annet værdata og snømålinger gjort ute i felt. En kan

derfor fore modellen med den informasjon som finnes fra et område og på grunnlag av dette beregne en sannsynlighet for skredfare.

Ekspertsystem ble utviklet allerede seint på 80 tallet i Frankrike (Brun et al., 1992, Brun et al., 1989). Denne kjeden kalt, SAFRAN-CROCUS-MEPRA brukte værdata (og strålingsdata) til å modellere alt fra utvikling av lag i snøen til stabiliteten i skråninger. I Sveits har også et lignende system blitt utviklet i seinere tid, kaldt SNOWPACK (Bartelt og Lehning, 2002). Modellen innhenter automatisk værdata fra stasjoner i Sveits og modellerer skredfaren. En av svakhetene med disse modellene er at de kun har modellert endimensjonalt. Men i SNOWPACK modellen jobbes det nå med å få denne to og tredimensjonal. Dette spesielt for å se på sigeprosesser i snøpakka gjennom vinteren, altså prosesser som ikke direkte påvirker snøskred.

Med skredvarsling er det ofte vanlig å varsle for et stort område som Sør Norge, i mindre skala som et dalføre eller som i dette tilfellet en enkelt skredbane. Modellene som til nå har blitt brukt har konsentrert seg om en mer regional varsling. Det har derfor vært vanskelig å kunne bruke disse for å se på kun Sætreskardfjellet, samtidig har ikke de mer avanserte varslingsmodellene vært brukt i Norge.

Nærmeste nabo metoden

Nærmeste nabo metoden er utviklet i Sveits (Buser, 1983) og brukes også i Norge (Lied et al., 2003). Poenget er at en sammenligner dagen i dag med tidligere dager og ser om det er noen som ligner. Finnes det dager som er ganske like der det har gått snøskred, er det sannsynlig at det kan gjøre det denne dagen også. Men ingen dager er helt like og det vil da være et spørsmål om hvilke dager som ligner mest. En kan da bruke en form for minste kvadraters metode der en tenker seg de ulike parametre i et flerdimensjonalt koordinatsystem. Ved å summere avstandene til alle parametrene som er med, kan en få et mål på hvor like dagene er, se formel 2-2, fra Lied et al. (2003). Her er det tatt med kun to parametre. For hver parameter vil det også være en vektingskonstant k som må bestemmes. Denne vil bli utarbeidet på grunnlag av erfaring og utprøving og vil derfor ikke være et absolutt tall. Usikkerheter med vektingskonstanten ønsker en å redusere til et minimum, samtidig som justering av disse gjør det enklere å tilpasse modellen i forskjellige områder.

$$r = \sqrt{k_x(x_2 - x_1)^2 + k_y(y_2 - y_1)^2}$$

Formel 2-2

Det største problemet med denne metoden er at en trenger store mengder data. Kartlegging av snøskredhendelser er til dels vanskelig og tidkrevende siden en ønsker å fange opp skredhendelser forårsaket av ulike vær-situasjoner. Liten bosetting gir som regel færre skredobservasjoner og selv om tidsangivelsen bør være på en dags nøyaktighet, er dette vanskelig i slike områder. Det er selvsagt ikke slike områder som er av størst interesse rent varslingsmessig heller.

En annen vanskelig side ved skredmodeller er problemer med å verifisere resultatet av varslene. Det ene momentet er at dårlig vær gjør det vanskelig og ofte umulig å si når skredene har gått eller om de har gått i det hele tatt. Vet en ikke resultat av varslene en sender ut, kan en heller ikke si noe om varslene er gode nok. Det andre momentet som alltid kommer til å gjøre skredvarsling vanskelig er at varselet er en sannsynlighet fra 0-1, mens resultatet kun er 0 eller 1. Dette medfører at skredfare 5 der sannsynligheten er 0,99 fortsatt vil gi 0 som resultat hvis det ikke utløses. Dette problemet er størst der det er få skredbaner som er involvert. Over et større område vil noen skred utløses hvis skredfaren er høy. Skred kan også være utløst kunstig, av for eksempel skiløpere eller sprengstoff. Dette indikerer stor skredfare, men en vet ikke om skredet har blitt løst ut naturlig hvis det ikke har vært noen ytre påvirkninger.

2.8. Statistisk analyse av gamle skreddata

Bruk av statistikk til å beskrive og analysere data er svært vanlig og kan gjøres på et uttall av måter og nivåer. Problemet er ofte at statistiske data kan tolkes på forskjellige måter avhengig av hva en ønsker å vise og hvordan dataene er presentert. Det er derfor viktig at metoden er godt beskrevet slik at resultatene ikke kan misforstås. Statistikk på værdata er i mange sammenhenger svært enkelt, det samme gjelder for en del snø og snøskredundersøkelser. Problemene har vist seg å komme når en skal kombinere dette med varslig av snøskred. Skredfaren avhenger av forskjellige faktorer og en vet ikke om det er samme faktorene som er viktige ved forskjellige skred. Målet i denne studien var å studere så mange faktorer som mulig og gjennom en statistisk analyse skulle det undersøkes hvilke av disse som har størst betydning og forklarer skredhendelsene best. For hver enkelt variabel en ønsket å analysere kan det settes opp en hypotese:

H_0 : Denne variabelen har betydning for skredfaren.

H_1 : Denne variabelen har ikke betydning for skredfaren.

Det er to typer feil som kan gjøres når en skal bestemme hvilke variabler eller hypoteser en skal velge.

- Type 1 feil eller forkastningsfeil, der en feilaktig forkaster nullhypotesen.
- Type 2 feil eller godtakingsfeil der en feilaktig godtar nullhypotesen.

Der det alvorligste er type 1 feil, fordi en forkaster en variabel uten at det er helt sikkert at den ikke har betydning (Løvås, 2000). En ønsker vanligvis å godta H_0 hvis sannsynligheten er over 95 %, og en sier at hypotesen godtas på 5 % signifikansnivå. Hvilken signifikanssannsynlighet en vil bruke avhenger av hva dataene skal brukes til. Til større konsekvensene av å ta feil avgjørelse er, til lavere må denne grensa settes.

2.8.1. Logistisk regresjon

Regresjon er analyse av hvilke sammenhenger det er mellom ulike variabler. Mens en i vanlig lineær regresjon har en respons som er kontinuerlig, vil en i logistisk regresjon ha en binær respons, altså at hendelsene har kun to utfall. For snøskredanalyse vil dette si at utfallet er skred eller ikke skred. Et plott av en slik sammenheng gir derfor lite informasjon om hvordan responsvariabelen avhenger av forklaringsvariabelen siden det er kun to mulige utfall. Den generelle formelen for en lineær sammenheng vil derfor ikke gjelde i dette tilfellet der $E(Y|x) = \beta_0 + \beta_1 x$ (leses som den forventede verdien av y, gitt en x verdi). Her kan x da være i intervallet $-\infty, +\infty$. I tilfeller med binær respons der en har verdier mellom 0 og 1 kreves en annen modell. Den logistiske regresjonsmodellen har derfor vist seg å være den beste for å beskrive dette og har formelen:

$$\pi(x) = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x}} \text{ der } \pi(x) = E(Y|x) \quad \textbf{Formel 2-3}$$

Her er e grunntallet i det naturlige logaritmesystemet, β_0 er en konstant og $\beta_1 x$ er de forskjellige forklaringsvariablene.

Selve beregningene gir også feilverdier for de enkelte koeffisientene og t-verdier som en bruker til å beregne hhv konfidensintervaller og signifikanssannsynlighet. Dette vil være viktig for å kunne gjøre seg opp en mening om betydningen av de enkelte faktorer, altså

dataene som danner grunnlaget for hypotesetestingen. Logistisk regresjon er i hovedsak utviklet og benyttet innenfor medisinsk forskning og testing av medisiner, litteraturen som finnes fokuserer også i hovedsak på dette temaet. En detaljert beskrivelse og mer teori finnes i Hosmer og Lemeshow (2000).

Det er noen sentrale begreper og sammenhengen mellom dem som en bør kjenne til og som er nødvendige for å kunne bruke resultatene rent praktisk. Disse er oppsummert i tabell 2-2.

Tabell 2-2. Oversikt over de viktigste begrepene i logistisk regresjon

Begrep		Variasjonsbredde	Sammenheng
Odds	φ	$(0, \infty)$	$P/(1 - P) = \varphi$
Logit	L	$(-\infty, \infty)$	$\ln[P/(1 - P)] = \ln \varphi$
Sannsynlighet	P	$(0, 1)$	

Sammenhengen mellom begrepene kan også oppsummeres slik:

$$\ln(\varphi) = L \rightarrow \varphi = e^L \rightarrow P = 1/(1 + e^{-L})$$

3. Metoder

Arbeidet som ble gjort kan deles inn i to hovedkategorier. Feltarbeid og en statistisk analyse av vær og skreddata. Metodene beskriver derfor både hva som ble gjort ute i felt og hvordan skred og værdata ble behandlet og analysert i ettertid.

3.1. Feltarbeid på Fonnbu

Ved å gjøre feltarbeid over en vintersesong kunne snødekket studeres nøye og skredhendelser relateres til endringer i både vær og snødekke. Selv om ett år med snømålinger ikke er nok til å inkludere snødekket i en statistisk analyse, kan det være med på å forklare skredhendelser som er uventede og ikke fanges opp av de velkjente værfaktorene. Det vil samtidig være en god mulighet til å få innsikt i hvordan ulikt vær påvirker snødekket og endrer stabiliteten gjennom vinteren. De metodene som ble brukt var:

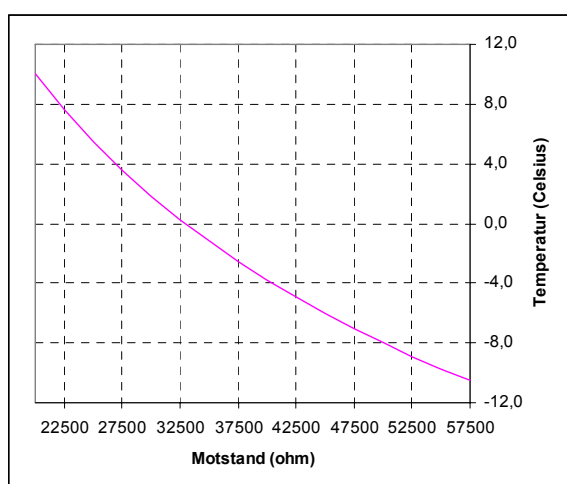
Logging av temperatur i snøpakka

Graving av snøprofil

Observasjoner av skred.

3.1.1. Temperaturlogging

For metamorfosen i snøen er temperatur en viktig faktor. Ved å registrere temperaturen i forskjellige dyp i snøen gjennom vinteren og sammenligne disse med værdata, vil en se hvilke effekter været har på de ulike lagene i snøen.



Figur 3.1. Sammenheng mellom temperatur og motstand.

Høsten 2002 ble det laget en termistorstreng. På denne ble det montert termistorer med 0,5 meters mellomrom. De høyoppløselige Fenwal termistorene måler motstanden med en oppløsning på $\pm 0,2$ °C (Fenwal Electronics Incorporated, 1994). Totalt antall termistorer var 10. Dataloggeren som ble brukt var en Campbell CR 10X. Denne loggeren er 12 kanals når det

brukes felles jord. Lagringskapasiteten er begrenset til 62800 datapunkter. Med registrering

hver time og lagring av 13 datapunkt gir dette ca 200 dager (10 termistorer, intern temperatur, batterispenning og dato/klokkeslett). Kalibrering av termistorene ble gjort i snøsørpe med temperatur på 0 °C. Siden det er vanskelig å kalibrere på andre temperaturer ble fabrikkens verdier brukt for andre referanseverdier. Termistoren måler motstand i Ohm og kan beregnes ut fra Ohms lov $R=U/I$, der R =Motstand i Ohm, U = Spenning i Volt og I er strøm i Ampere.

Det ble brukt en halv Wheatstone bro med referansemotstand på 330 kΩ. Ved å bruke en slik bro kan strømmen som går gjennom referansemotstand og termistor måles i det intervallet som gir best nøyaktighet i loggeren. Dette beregnes ut fra utgående spenning, intervallet termistoren skal måle i og referansemotstand. Mer detaljer om dette finnes i technical note 15-95AS (Campell Scientific Ltd, 2000). Siden sammenhengen mellom temperatur og motstand ikke er lineær, se figur 3.1, ble det brukt en tredjeordens polynomfunksjon kaldt SteinhartHart formelen (formel 3-1) for å regne om motstand til temperatur, se Fenwal Electronics Incorporated (1994) for detaljert beskrivelse.

$$\frac{1}{T} = A + B(\ln R) + C(\ln R)^3 \quad \text{Formel 3-1}$$

Der T er temperaturen som en ønsker å måle i °C, A , B og C er konstanter målt ved kalibrering av termistor og R er målt motstand.

Loggeren ble så programmert (se programmet i Appendiks) slik at data fra 10 kanaler samt batterispenning, temperatur i logger og dato/klokkeslett ble lagret hver time. På grunn av lite snø ble ikke loggeren plassert ut før lørdag 18/1-03 rett ved forskningsstasjonen, (UTM 0411523Ø 6875178N) på 920 moh. Snødybde var 210 cm og strengen montert videre til fire meters høyde med 0,5 m mellom termistorene.

3.1.2. Graving av snøprofil

Graving av snøprofil var den viktigste delen av feltarbeidet. Det ble gravd profiler hver gang Fonnbu ble besøkt, både i ulike høydeintervaller og eksposisjoner. Det ble forsøkt å grave på de samme stedene fra gang til gang, men dette var ikke alltid like enkelt på grunn av værforhold og snøskredfare. De egenskapene som ble studert var:

- Krystallenes kornform
- Krystallenes størrelse
- Snøens hardhet
- Snøens tetthet
- Snøens temperatur

Samtidig ble det gjort stabilitetstester som rutsjblokktest, spadetest og kompresjonstest. I noen tilfeller også rammsondetest.

Et snøprofil blir gravd etter en delvis fastsatt standard. Den er utarbeidet i ICSI (International commission of snow and ice, (Colbeck et al., 1990)). Profilene bør graves i et mest mulig representativt område med tanke på et løsneområde, uten at det går ut over sikkerheten. Samtidig er det enorme lokale variasjoner som gjør at et profil kun gir et bilde av snødekket akkurat der det er gravd. For tidsbesparelse vil det lønne seg å grave ut en loddrett vegg i en lengde av tre til fire meter samt at de blir gravd på en plass der snødybden ikke er mer enn to meter hvis det skal graves til bunns. For glatting av veggen som skal undersøkes er det en fordel med en stålskrape eller en liten kost for å lettere kunne avdekke de ulike lag. Det er også viktig at målingene blir gjort raskt etter at gravingen er avsluttet slik at sol eller lufttemperatur ikke skal påvirke snøpakka.

Kornform (F) og størrelse (E)

Krystallenes kornform og størrelse blir studert på en rasterplate med millimeterinndeling og gjerne lupe. Kornformen er i stor grad avhengig av metamorfosen i snøpakka. Den internasjonale klassifiseringen med 9 hovedinndelinger blir brukt (Colbeck et al., 1990). En underklassifisering er mer detaljert, men unødvendig i felt. tabell 3-1 viser de ni hovedgruppene.

Tabell 3-1. Tabell over krystalltyper. Hentet fra Kristensen (2000)

Tallkode	Hovedklasse	Grafisk symbol
1	Nedbørspartikler (nysnø)	+
2	Delvis nedbrutte eller fragmenterte nedbørspartikler.	/
3	Avrundete korn (monokrystaller)	●
4	Krystaller med plane flater	□
5	Begerformede krystaller	∧
6	Våte korn eller tidligere våte korn som er frosset igjen. (avrundete korn og polykrystaller, sørpe. NB; ikke skarelag)	○
7	Fjærformede krystaller (overflaterim, hulromsrim)	∨
8	Is	—
9	Overflateavsetninger og skare (tåkerim, smelteskare med mer)	∇

Inndeling av kornstørrelse gjøres ved å se på gjennomsnittet av største utstrekning av krystallene etter følgende inndeling, se tabell 3-2.

Tabell 3-2. Størrelsesinndeling av snøkorn (Kristensen, 2000)

Størrelse mm	Betegnelse
<0,2	Meget finkornet
0,2-0,5	Finkornet
0,5-1	Middels
1-2	Grovkornet
2-5	Meget grovkornet
>5	Ekstremt grovkornet

Hardhet (R)

Hardheten (R) i snøen blir målt subjektivt med å bruke hånden med ca 50 N trykk mot snøen med ulikt areal, se tabell 3-3

Tabell 3-3. Klassifikasjon av snøens hardhet, hentet fra Kristensen (2000).

Tallkode	Håndtest	Betegnelse	Styrke (Pa)	Sveitsisk Rammsonde	Grafisk symbol
1	Knyttet neve	Meget løs	0-103	0-20	
2	Fire fingre	Løs	103-104	20-150	/
3	En finger	Middels	104-105	150-500	X
4	Blyant (butt ende)	Hard	105-106	500-1000	//
5	Knivblad	Meget hard	>106	>1000	XX
6	For hardt for Is kniv				—

Hardheten kan også måles mer kvantitativt med en rammsonde. Denne består av et stålrør og et lodd som med gitte dimensjoner og belastning vil trenge ned i snøpakka. En vanlig sveitsisk rammsonde består av et meters rør som kan forlenges og med en masse på 1 kg pr rør. Konet på enden har en diameter på 40 mm og vinkel på 60°. Loddet som slippes gjennom en styrestang på toppen kan ha forskjellig masse (0,5-2 kg), alt etter forventet hardhet. Ved å slippe loddet fra forskjellige høyder på styrestanga og notere både denne høyden, innsynkning, antall slag og vekt kan en beregne rammotstanden i snøpakka ut fra formel 3-2.

$$R = \frac{P \times n \times h}{\Delta} + q + P$$

Formel 3-2

Bokstavene har følgende betydning:

R = Rammotstand (N)

P = vekt av ramlodd(N)

n = antall slag

h = fallhøyde

Δ = innsynkning pr slagserie

q = vekt av rørlengder(N)

x = total innsynkning

Alle masser må måles i Newton. Resultatene blir så lagt inn i snøprofilen isteden for håndtest.

Tetthet (ρ)

Tettheten i snødekket kan fortelle mye om den potensielle skredfaren i området. Målinger av tetthet blir derfor gjort i forskjellige intervall i snødekket, alt etter om en vil måle ved faste intervaller, for eksempel ved hver 10 eller 20 cm, eller innenfor hvert lag i snødekket. Vanligst er å ta ut et kjent volum med snø parallelt med lagene og deretter veie dette. Målingene noteres i kg/m^3 .

Temperatur (T)

Foruten temperatur i lufta (1,5m) og ved snøoverflaten måles temperaturen nedover i snøpakka med et intervall på vanligvis 10 cm. For mest nøyaktige målinger må de tas i skyggen og termometeret bør kalibreres jevnlig. I snøen bør det stå i hver posisjon ca ett minutt, eller til temperaturen har stabilisert seg.

Stabilitetstester

Det viktigste med å studere lagdelingen i snødekket er å oppdage svake og ustabile lag. Dette finner en best ved å teste stabiliteten i snøen. Dette gjøres enkelt med tre forskjellige måter:

- Spadetest
- Kompresjonstest
- Rutsjblokktest

Dette er subjektive vurderingsmetoder som i stor grad baserer seg på erfaring og som blir gjort i forbindelse med graving av snøprofil.

Spadetest

Undersøkelsen egner seg best i hellende terreng der snøen har en viss fasthet. En søyle isoleres med et areal på ca 25*30 cm. Søylen må ha trapesform slik at den ikke kiles. På ene siden må en kunne sage i bakkant av søyla. Ved å sette spaden i bakkant påføres søyla belastning til det oppstår brudd. Skjer det ikke rent brudd sages det dypere og ny belastning påføres. Rene brudd noteres med høyde og påført belastning.

Kompresjonstest

Denne testen kan også gjøres på flate områder. Ved utgraving følges samme prosedyre som ved spadetest. Men istedenfor å belaste bak søyla belastes det nå på toppen. Belastningen som blir utøvd er gitt i tabell 3-4.

Tabell 3-4. Belastinger ved kompresjonstest (Kristensen, 2000)

Tallkode	Betegnelse	Beskrivelse
1	Meget lett	Brudd oppstår ved isolering uten tilleggsbelastning.
2	Lett	En spade med flatt blad plasseres på toppen av søylen. Brudd oppstår ved 5-10 lette slag med fingertuppene og bevegelse av handledet.
3	Middels	Brudd oppstår med 5-10 middels slag med fingertupper og bevegelse av underarm.
4	Vanskelig	Brudd oppstår ved 5-10 faste slag med fingertupper og bevegelse av underarm.
5	Ikke brudd	Brudd oppstår ikke ved noen av de foregående belastningene.

Rutsjblokktest

Dette er den mest nøyaktige testen av snødekket en kan gjøre med enkelt utstyr. Forutsetningen er at det blir gjort i hellende terreng ($<30^\circ$). Testareal er ca 3 m². Det graves først en loddrett vegg i front på 2 m lengde. Deretter graves kanaler inn på hver side i samme dybde som fronten og ca 1,5 m lengde. Til slutt brukes enten en lang snøsag eller en snor til å kutte bakre vegg. Den belastningen som blir påført før en eventuell utglidning er gitt i tabell 3-5.

Tabell 3-5. Belastninger under rutsjblokktest (Kristensen, 2000)

Trinn	Belastning
1	Blokken sklir ut ved utskjæring uten tileggsbelastning.
2	Blokken sklir ut når en skiløper forsiktig beveger seg innpå blokken (på øvre del av blokken, ca 30-40 cm nedenfor øvre begrensning).
3	Skiløperen gjør en gyngende bevegelse uten å løfte hæler eller ski.
4	Skiløperen hopper en gang og lander på samme sted.
5	Skiløperen hopper en gang til på samme sted.
6	Hopp uten ski på samme sted. Dersom det er løs snø kan man med ski gi gå til midten av blokka og gynte en gang, deretter hoppe tre ganger.
7	Ingen av de foregående trinn forårsaker rent brudd.

Begrensninger for en slik test er ofte at de øvre lag består av mye løs snø, samt at det er store usikkerheter med utglidninger dypere ned enn en meter (McClung og Schaerer, 1993).

En mer detaljert beskrivelse om feltobservasjoner og graving av snøprofil finnes i kompendiet Kurs i observasjonsrutiner for snøskredvarsling (Kristensen, 2000).

3.1.3. Observasjon av skred

Siden Fonnbu kun ble besøkt fire ganger i løpet av vinteren, vil observasjoner av skred basere seg på det andre har sett samt gamle spor av skred. Dette gir ikke mulighet til noen nøyere tidsangivelse enn det som har vært tilfelle de siste tiårene på Fonnbu. Tanken var likevel å besøke Fonnbu umiddelbart etter skred og gjøre snøundersøkelser med de metoder som er beskrevet for snøprofilgraving.

3.2. Analyse av gamle værdata

Bruk av statistikk for å si noe om værforhold har blitt brukt i mange tilnærmelser av skredproblematikken (Davis et al., 1999, Föhn et al., 1977). Problemet er ofte at disse studiene ser på skred i et større geografisk område og ikke enkeltskred. Dette gjør modellene mindre anvendelige for en spesiell skredbane. Det var derfor nødvendig å gjøre en mer detaljert studie av de metrologiske parametere som påvirker kun denne ene skredbanen.

Innsamling av værdata på Fonnbu har blitt gjort siden stasjonen åpnet vinteren 1973/74. Værstasjonen på 930 moh. måler lufttemperatur, middel 10 minutters vindhastighet, vindkasthastighet, vindretning, fuktighet, trykk og nedbør. I perioder har også en ultrasonisk snøhøydemåler virket. På fjellet Kvitenova 1422 moh. er det også en stasjon som måler vind og temperatur, men på grunn av forskjellige tekniske problemer har denne tidvis vært ute av drift. Dataene blir lagret hver time og kan leses av fra for eksempel Oslo via overføring på modem. Men siden en her ikke har forsøkt å teste modellen direkte med varsling, er det kun historiske data som har blitt brukt.

En sammenligning av værforhold mellom Fonnbu og Kvitenova ble også gjort for å se om observasjonene kunne brukes til estimering av værforhold i høyden. En slik sammenligning vil ikke gi noe annet enn en indikasjon på de usikkerhetene værdataene på Fonnbu har. Det

ble valgt ut noen perioder med data fra begge stasjonene og sammenlignet med hensyn på både temperatur, vindstyrke og retning. Ut fra dette ble det estimert forhold i løseområdet på 1350 moh.

Skredinfo fra hele 30-årsperioden er samlet inn, både for å finne antall skred og variasjonene fra år til år. Innsamlingen har blitt gjort på grunnlag av årsrapporter fra NGI, samt arbeid gjort av Larsson (1990). Dette for å se på sjansene for skred under feltarbeidet og for å gi en pekepinn på de dataene en har å forholde seg til ved den statistiske analysen. For de årene der informasjon om sprengte skred og antall varslede skred er tilgjengelig, er også dette tatt med.

For å kunne lage en modell for varsling av snøskred i Sætreskardfjellet, ble en stor jobb gjort med å analysere vær-situasjonen før hvert enkelt skred. Dette ble gjort med kun vær-observasjoner fra Fonnbu, siden målingene på Kvitenova var for mangelfulle. Først ble årsrapportene for årene 1989/90-1999/00 gjennomgått. Alle naturlig registrerte skred fra Sætreskardfjellet ble brukt som utgangspunkt. Såg hovedsakelig på vær-situasjonen siste døgn og tre døgn, samt en detaljstudie av de siste timer, se tabell 3-6.

Tabell 3-6. De ulike forklaringsvariabler som ble valgt

Nedbør	Vind	Temp
3-timers	3-timers	Maks
6-timers	6-timers	3-timers
Døgn	Døgn	Endring
3-døgn	3-døgn	
Endring	Endring	
	Makskast	
	3-timers-retning	
	Døgn-retning	
	Endring retning	

Nedbørsdataene er sum av nedbør i de respektive perioder, endring er beregnet ut fra gjennomsnitt intensitet siste 3 timer / gjennomsnitt siste 24 timer.

Verdi mellom 0 og 0,75 gir verdien -1. Verdi f.o.m. 0,75 til 1,2 gir verdien 0 og f.o.m. 1,2 og oppover gir verdien 1.

-1= avtagende intensitet

0 = stabil intensitet

1 = økende intensitet

Hvis døgnnedbør er mindre enn to mm, settes intensiteten til 0

Vinddataene er snitt av 10-minuttersmiddel for de ulike periodene, for endring gjelder de samme kriterier som nedbør, bortsett fra at det ikke er satt en minimumsgrense. Makskast er ikke middelhastighet, men høyeste hastighet registrert siste døgn. Endring av retning ser på om tretimersvind og døgnvind er i forskjellige klasser. Hvis det er tilfelle får retningsendringen samme verdi som tretimersvinden. Ingen endring gir stabil vind = 5, se tabell 3-7.

Tabell 3-7. Verdier for de forskjellige vindretningene

Retning i grader	Verdi	Endring av retning	Verdi
0-90	1	Til NØ	1
90-180	2	Til SØ	2
180-270	3	Til SV	3
270-360	4	Til NV	4
		Stabilt	5

For temperatur er makstemp høyeste temperatur siste døgn. Bruk av 3 timers snitt isteden for temperaturen ved utløsning er for å utjevne eventuelle feilmålinger. For endring gjelder følgende: Gjennomsnitt for 3 og 24 timers temperatur. Verdiene blir så addert med 20 (ingen målinger viser kaldere enn -20) for å få positive verdier. Får da: (3-timerssnitt+20)-(24timers+20), som gir

Mindre enn -1 = -1

F.o.m. -1 til 0 = 0

F.o.m. 1 og oppover = 1

Det er klart at de grenseverdiene som ble satt er gjennom en subjektiv vurdering og kan være gjenstand for diskusjon og siden hvert enkelt kontrolltilfelle ikke er manuelt kontrollert, kan det være hendelser som mangler værddata og derfor gir feil verdier. De verste feilene er luket ut, slik som 0 i snittvind for 3 dager og maks vindkast på 70 m/s.

Siden mange av skredene ikke var tidfestet med ønsket nøyaktighet ble vær-situasjonen i det aktuelle tidsrommet studert for å finne det mest sannsynlige tidspunktet. Der det forelå vær-observasjoner hver time, ble det også forsøkt å sette et slik tidspunkt på skredet, hovedsakelig ut fra nedbørsintensitet, endring av vindretning eller hastighet og temperatur. Dette er likevel en meget usikker fremgangsmåte når en ønsker å bruke faktorer som kun ser på de siste tre timer før et skred. Men så lenge det ikke foreligger sikre observasjoner er dette eneste mulighet. Dette må uansett tas med som en feil når betydningen av slike faktorer skal diskuteres.

3.3. *Bruk av logistisk regresjon*

Logistisk regresjon har i liten grad blitt brukt i snøskredsammenheng og det er derfor lite litteratur å finne om emnet. Romig et al. (2004) og Schweizer og Kronholm (2004) har brukt dette innen snøskredforskning, men det har omhandlet gjenkjennelse av ulike lag i snøen og våte flakskred, noe som ikke kan relateres direkte til dette arbeidet.

Logistisk regresjon er i hovedsak analyse av data gjennom programvare og derfor ligger selve arbeidet i å bearbeide dataene for analysen og vurdere resultatene i etterkant. Skreddataene er utgangspunktet for analysen. I den logistiske regresjonen får disse hendelsene verdien 1. Problemet blir da å skaffe hendelser som ikke har gitt skred med verdi 0. Dette er helt nødvendig for å kunne kjøre regresjonen. Problemet er hvordan disse dataene skal velges ut. Et alternativ er å finne værhendelser der en skulle forvente skred, en annen er å ta helt tilfeldige datoer og tidspunkt gjennom vintersesongen. Alternativ en medfører en gjennomgang av værdata fra hele vintersesongen manuelt og en subjektiv vurdering av hvilke hendelser som skulle velges ut. Dette ville være tidkrevende og ikke gi et tilfeldig utvalg av været gjennom vinteren. Men litt av problemet er om det trengs et tilfeldig utvalg av hele vintersesongen. En vet jo at det ikke har gått skred og hvor nærme en skredsituasjon disse var, kan en jo ikke vite uansett hvordan en velger kontrollhendelser. Likevel ble et tilfeldig utvalg brukt, hovedsakelig for å ha bedre kontroll med datasettet. Det vil også være enklere å diskutere resultatet i ettertid når dataene er uavhengige og tilfeldige.

Dataene ble valgt ut gjennom tiårsperioden fra 1989/90-1999/00 og tidspunktene ble generert ut fra tilfeldige tall (funksjon i Excel). Kontrollhendelsene ble valgt ut med en avgrensning innenfor vintersesongen (1/12-30/4). Det ble brukt ca fire kontrollhendelser pr skred, dvs.

omtrent 10 for hvert år. Hver hendelse skulle også være minst en dag fra hverandre, minst en dag før skred og sju dager etter naturlige eller sprengte skred. Dette for at dataene ikke skulle være avhengige av hverandre. Siden det ble satt krav om at kontrollhendelsene skulle være uavhengige burde i utgangspunktet skredhendelsene også være det. Dette gjaldt spesielt for noen tilfeller der det har gått flere skred på en dag. Siden løsneområdet er relativt stort, kan en forvente at det raser fra ulike steder til forskjellig tid, men ender opp i samme avsetning. Det ble derfor kjørt regresjon med to ulike datasett, ett der alle skredhendelsene var med og ett der alle skred med avhengighet og mangelfulle værdi var utelatt. Hvilke skred som avhenger av hverandre blir selvsagt en subjektiv vurdering av hvordan værforholdene mellom skredhendelsene har påvirket snødekket.

Selve regresjonen ble kjørt med statistikkprogrammet S-plus for Windows. Målet var å få så sikre koeffisienter som mulig for de ulike forklaringsvariablene, samt å unngå koeffisienter som ikke har noen betydning. Rapporten i S-plus gir en koeffisient, standardfeil og t-verdi for hver forklaringsvariabel. Ved å kjøre modellen mange ganger med ulike variabler, var målet å sitte igjen med den kombinasjonen som gav høyest t-verdi for de enkelte variablene. En mer kjent måte å se på kvaliteten til dataene er p-verdien (Signifikanssannsynlighet). Dette kan regnes om fra t-verdien i S-plus (kommando: $2*(1-pnorm(abs(t \text{ value})))$). Etter å ha gjort dette noen ganger, kunne det fastslås at 2 i t-verdi tilsvarte 0,05 i p-verdi og 1.6 tilsvarte 0,1 i p-verdi. Vanligvis forkastes nullhypotesen hvis signifikansen er større enn 0,05, det vil si hvis nullhypotesen er riktig godtas det altså fem % sjanse for å gjøre forkastningsfeil (Løvås, 2000). Siden det uansett er så mange usikkerheter rundt dette temaet, vil det være aktuelt å godta signifikansnivå på 0,1, slik at flere variabler tilfredsstiller kravet for å bli med i modellen.

For å finne sannsynligheten for skred må modellen mates med værdata fra de siste tre døgn med de variabler som tilfredsstiller ønsket signifikanssannsynlighet. Logiten for denne hendelsen beregnes med formelen:

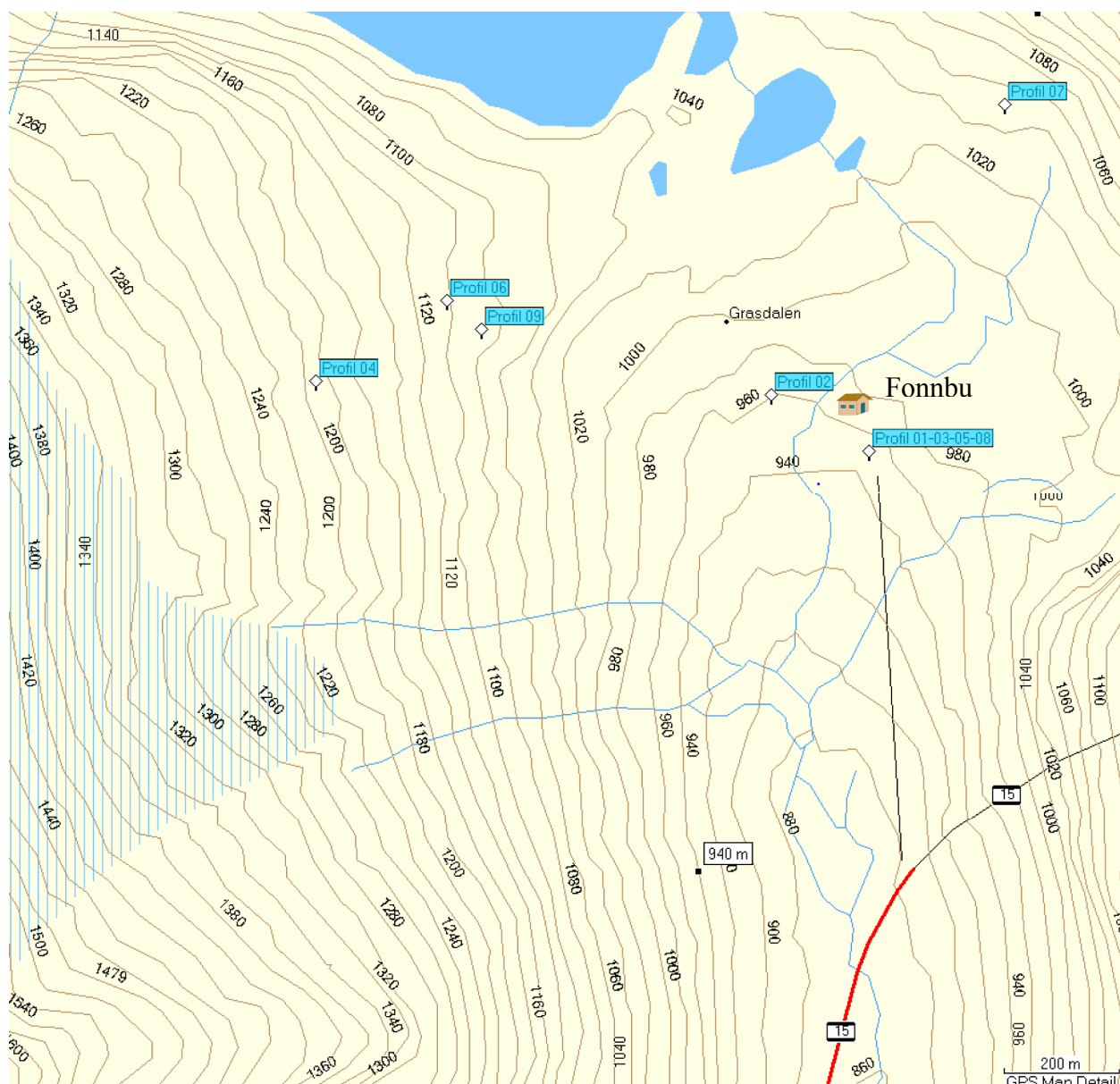
$$L = a + \beta x_1 + \beta x_2 + \beta x_3 + \dots + \beta x_n$$
Formel 3-3

Logiten transformeres så til sannsynlighet med verdier mellom 0 og 1 med formel 3-4.

$$P = \frac{1}{(1 + e^{-L})}$$
Formel 3-4

Dette ble gjort med alle modellene for testing opp mot faktiske skredhendelser og hendelser der det var varslet stor skredfare. Alle modellene ble også kjørt for hele vinteren 1988/1989 for å se hvordan de varslet for et lengre tidsrom.

4. Resultater



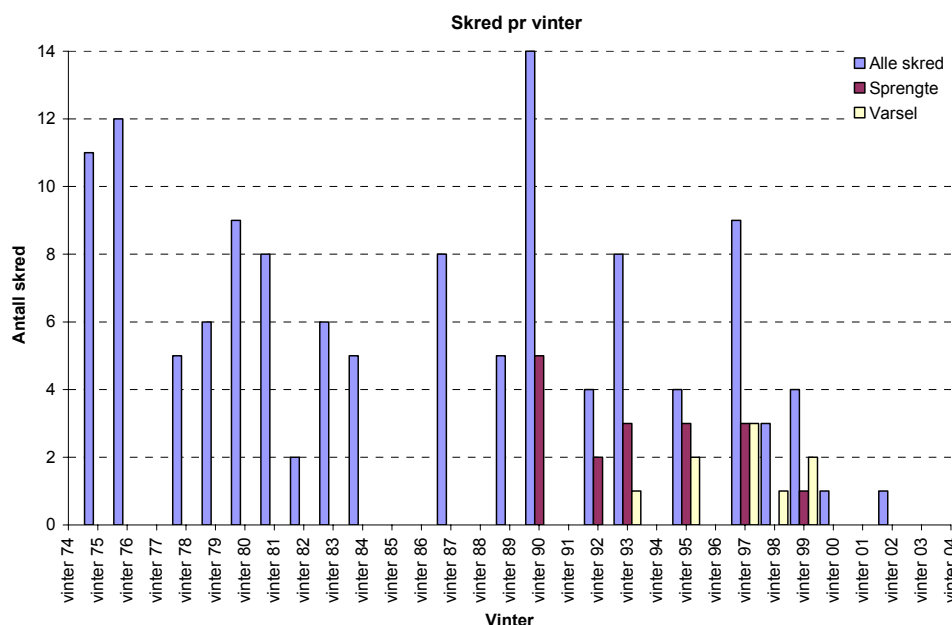
Figur 4.1. Kart over området rundt Fonnbu. Lokalteter for snøprofiler tegnet inn.

4.1. Analyse av gamle værdata

Skreddata fra Sætreskardfjellet ble innhentet for hele perioden stasjonen har vært i drift, dvs. fra 1973. I årene fram til midten av 80 tallet når stasjonen var bemannet i vintersesongen, viste det seg at skredregistreringene har vært mer omfattende. Flere små skred i Sætreskardfjellet, både i toppområdet og nede ved vegen er registrert, samtidig er det innhentet mer informasjon om hvert enkelt skred. Siden mange av de mindre skredene ikke har betydning for skredproblematikken for RV 15, ble det fokusert på 1990 tallet for den statistiske analysen. Det må likevel antas at flere av skredene i denne perioden heller ikke har

betydning for RV 15. Skredinfo som ble innhentet er komplettert med info om varslede og sprengte skred der slik informasjon er tilgjengelig.

Det totale antallet fra 1973/74 og fram til 2004 er 126 skred i Sætreskardfjellet, se figur 4.2. Antall varslede baserer seg på de varsler som er oversendt vegvesenet og med faregrad stor(4) eller meget stor(5). En studie av alle disse ville være et alt for stort arbeid, så fokus har ligget på årene på 1990 tallet, der alle sprengte skred har blitt utelatt. Bortsett fra ekstremåret i 1989/90 er det jevnt fire til seks skred i året. Men relativt mange år har også fravær av skred.



Figur 4.2. Antall skred i Sætreskardfjellet de siste 30 år

Grafen viser at årene 1985 til 1986 ikke hadde skred og at det har skjedd to år på rad under mitt feltarbeid er derfor ikke så unormalt som først ble antatt.

4.2. Estimering av værforhold i løsneområdet

Siden det ikke foreligger værobservasjoner fra løsneområdet, er det vanskeligere å si noe nøyaktig om værforholdene her. Ved å bruke data fra både Fonnbu og Kvitenova kan en likevel få en viss formening om værforholdene i den aktuelle høyden og eksposisjonen. Dette vil være viktigst med tanke på temperatur, siden vindretningen på Fonnbu i stor grad er styrt av retningen på dalen. På Kvitenova skulle en forvente en vindretning som i større grad gjenspeiler det generelle værmønsteret. En skulle også forvente at dalen har betydning for

vindforholdene i løsneområdet. Dette gjelder spesielt med vindretninger fra sør. Siden dataene fra Kvitenova er svært mangelfulle, er det ingen registreringer derfra i forbindelse med skredhendelser. Måtte derfor finne situasjoner med noen dagers kontinuerlige målinger og sammenligne disse med Fonnbudata.

Tabell 4-1. Forskjeller på værforhold på Kvitenova og Fonnbu

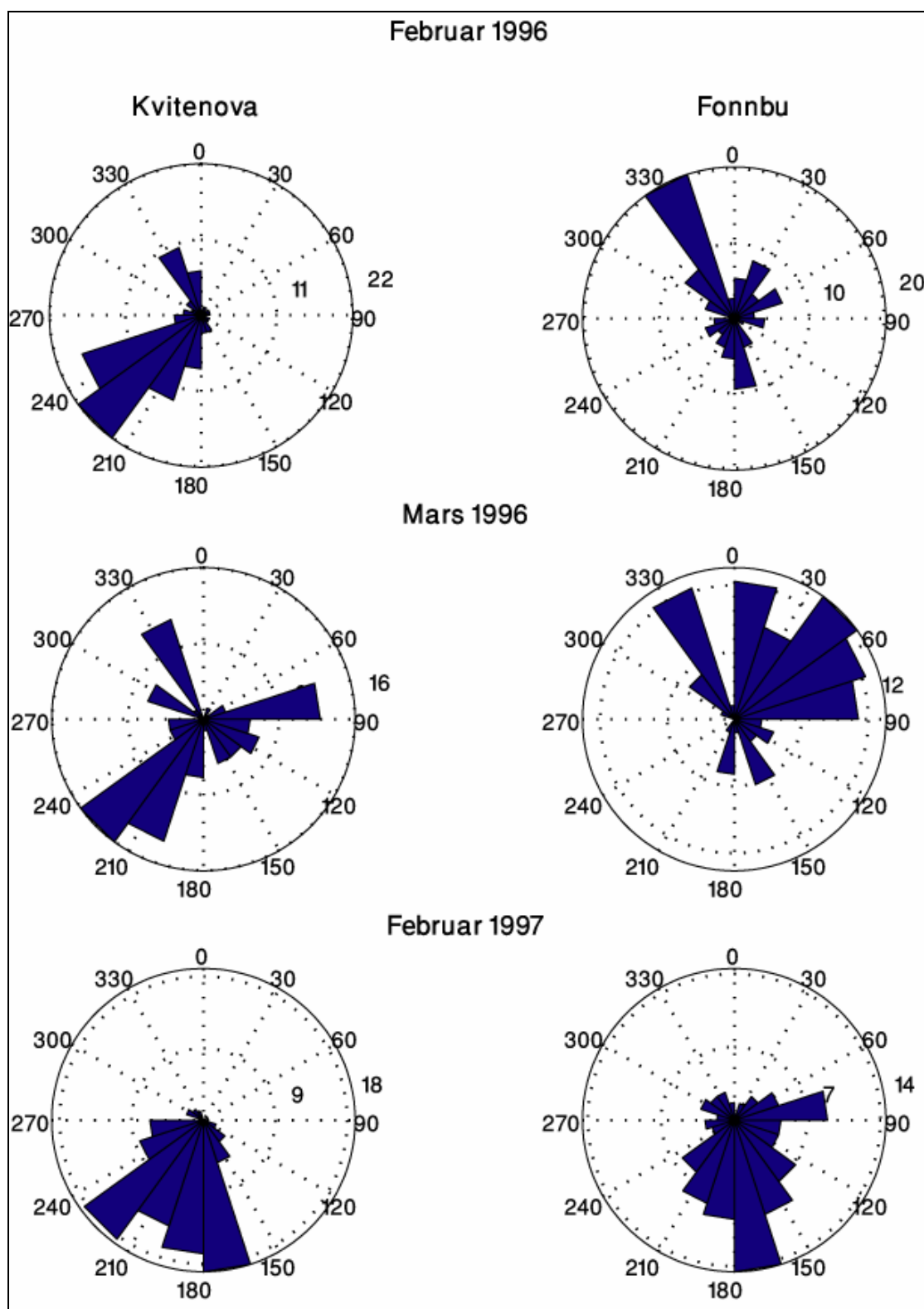
Tidspunkt	Middelvind		Kast		Temperatur	
	Kvitenova	Fonnbu	Kvitenova	Fonnbu	Kvitenova	Fonnbu
Feb. 96	10,3	3,8	20,8	7,1	-8,7	-9,2
Mars 96	4,7	3,3	8,8	6,0	-2,5	-6,4
Feb. 97	15,1	3,8	28,7	10,1	-6,2	-3,2

Verdiene i tabell 4-1 viser som ventet størst forskjell på vindhastighet. Fonnbu har stabil vind i alle tre periodene, mens det er store variasjoner på Kvitenova. For de to første periodene er det tydeligvis klarvær og temperaturinversjon. Dette indikeres med lavere temperatur på Fonnbu. Mindre vind favoriserer også kaldere vær siden den kalde lufta blir holdt mer i ro. For den siste perioden med en mer normal vær-situasjon er temperaturforskjellen 3 grader på 500 m. Dette gir en temperaturgradient på $0,6\text{ °C}/100\text{m}$ som er en vanlig verdi. Det er også i denne perioden at forskjellene på vindhastighet er størst, ca tre ganger høyere hastigheter på Kvitenova. En gjennomsnittlig verdi for vind gir en faktor på 2,76 for middelvind og 2,51 for kast. Samtidig er det sannsynlig at noen vindverdier fra Kvitenova ikke er riktige. Kast over 70 m/s og middelvind langt over orkan i mange tilfeller virker usannsynlig uten at en vet det er feil.

Et estimat for løsneområdet på 1300 moh. gir da $T\text{ °C} = 0,6\text{ °C}/100\text{m} * 350\text{m} = 2,1\text{ °C}$ kaldere enn på Fonnbu. Går en ut fra at vindhastighetene er riktige kan en forvente $2,76/500 * 350 = 2$, altså dobbelt så sterk vind.

Den viktigste faktoren er kanskje vindretningen. Ved Fonnbu er vanligvis vinden kanalisert i dalen, mens en kunne forvente at vindretningen på Kvitenova var mer styrt av den generelle vindretninga. I de to første periodene er det sørvestlig vind på Kvitenova, mens Fonnbu har nordvestlig vind i første periode og mer variasjon rundt nord i den andre. For den siste perioden er forskjellene mindre med variasjon rundt sør i begge tilfellene, se figur 4.3. En ser

altså at det er store forskjeller mellom stasjonene. De sørlige vindene som ofte gir mye nedbør ser likevel ut til å være godt korrelerte ved stasjonene og er unntaket for de aktuelle periodene. Vindhastighetene indikerer også at det jevnt over er vindstyrke over 5 m/s i løsneområdet som gir transport av løs snø. En kan derfor forvente at så lenge det er løs snø, vil den redistribueres gjennom hele vinteren. Dette innebærer at det ikke nødvendigvis trengs nysnø for å akkumulere store nok mengder til å gi skredfare.



Figur 4.3 Variasjon i vindretning mellom Fonnbu og Kvitenova.

4.3. *Feltsesonger på Fonnbu*

Feltdataene ble noe annerledes enn forventet siden det ikke gikk naturlige skred i Sætreskardfjellet gjennom de to vintrene som var til rådighet. Dataene som ble samlet inn vil derfor bli brukt til å si noe om hvorfor det ikke gikk skred. Snøprofiler ble gravd ved fire anledninger gjennom vinteren 2002/03 i forskjellige høydeintervaller. Men det var kun på testfeltet ved hytta graving kunne gjentas på samme lokalitet. Dette fordi vær og skredfare ikke alltid tillot graving i fjellsidene.

Temperaturloggeren som ble satt ut den første vinteren slutta å virke etter bare en måned så dataene derifra ble begrenset. Temperaturdata for 2004 vinteren er fra løsneområdet, men disse viser i hovedsak lufttemperatur på grunn av lite snø, og fraværet av skredhendelser førte til at dataene ikke ble brukt.

4.3.1. *Snøprofiler på testfeltet gjennom vinteren 2002/2003*

På grunn av lite snø og problemer med utstyr ble ikke første tur gjort før 18-19 januar. Da hadde det derimot snødd kraftig de siste fem dagene og en skulle forvente skredfare. Siden nedbørsmåleren ikke fungerte er dette kun estimert ut fra stasjonen Stryn-Kroken på 208 moh. Denne viser ca 30 mm de siste dagene før første besøk og totalt 60 mm i januar før nedbørsmålingene kom i gang. En må anta at nedbørsmengdene er en del større i Grasdalen og at kriteriene for stor skredfare var innfridd. Snøprofilene viste her og generelt gjennom hele vinteren et markert lag med begerkrystaller i bunn. Dette har blitt dannet tidligere på vinteren på grunn av lite snø og mye kaldt vær som medførte stor temperaturgradient. Dette kunne sees tydelig på de godt utviklende krystallene. Sammenligningen i figur 4.5 er ikke helt rett fordi profil 1 er gravd noen meter unna de tre andre profilene. Det er derfor litt vanskelig å si noe sikkert om endringen mellom første og andre profil. Generelt er det en relativt jevn utvikling av snødekket. BegerkrySTALL-laget er stabilt både med tanke på tetthet, tykkelse og hardhet, hhv. fra 250-340, 35-25 cm og 4 fingre. Et slik lag som finnes hovedsakelig på bunnen av snøpakka vil derfor være ustabilt med tanke på snøskred hele vinteren. Likevel blir snømengdene oppå såpass store at så dype brudd sjelden skjer før våren kommer og snøpakka blir isotherm og stabiliserende lag som skare og is løses opp. Temperaturen viser seg også å være relativt stabil gjennom hele vinteren. En gradvis oppvarming ved bunnen er å forvente, men ingen deler av snøpakka hadde blitt isotherm før ved siste profilgraving 29/3. Skarelag og refrosne korn indikerer likevel at det har vært temperaturendringer gjennom vinteren som ikke



Figur 4.4. Graving av snøprofil 0203 den 19/1-03. Vekten blir brukt for måling av tettheten (Foto K.I. Orset).

ble fanget opp i snøprofilene. Det samme problemet vil en også få med tanke på temperaturforskjeller som indikerer overflaterim, dette ble heller ikke funnet i profilene.

Det første profilet gravd 18/1 viser over en meter med nysnø oppå begerkrystallene, hovedsakelig fokksnø med en fingers hardhet. De tre tynne skarelagene viser at det har vært temperaturer nær 0 °C, kanskje med innslag av regn. Øverste 30 cm bestod av nysnø som var mindre vindpåvirket og dermed hardhet på knyttneve. Stabilitet er vanskelig å måle på flat mark der kompresjonstest er det eneste som kan gi noe mening. Denne testen gav ingen utslag og en kunne derfor anta at snødekket var stabilt

Profil 0803

29/3-03

Profil 0503

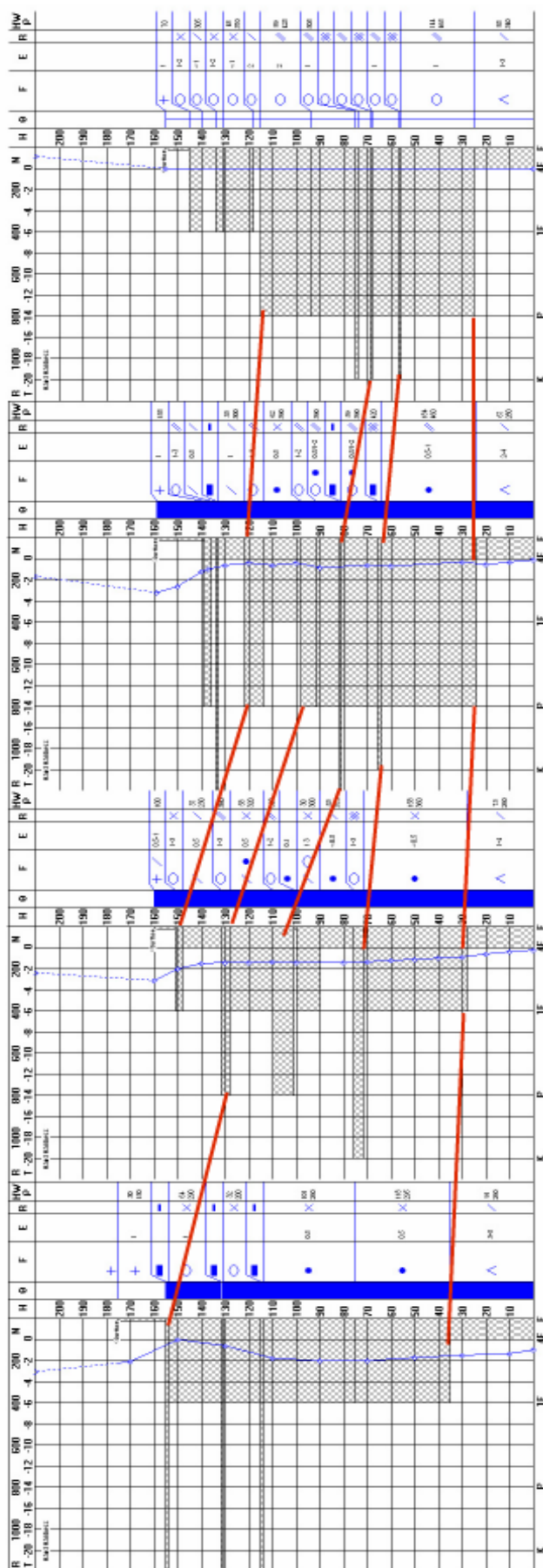
13/3-03

Profil 0303

12/2-03

Profil 0103

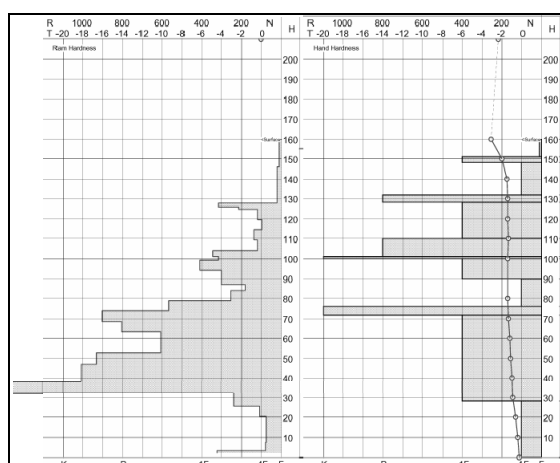
18/1-03



Figur 4.5. Oversikt over snøprofil ved fire forskjellige tidspunkt på testfeltet ved Fonnbu. Røde strek er et forsøk på å følge lagene gjennom vinteren. For komplette profiler, se Appendiks.

Profil 03 som ble gravd 12/2 viser en litt annen sammensetting. Spesielt det løse laget med fire fingres hardhet på 80-90 cm var noe uventet siden snøen var så homogen tidligere. Skarelagene er ikke like harde som i profil 01, men mye tykkere. Ser en på de noe mangelfulle værdataene for den siste måneden, figur 4.11, har det generelt vært en del nysnø de første 14 dager etterfulgt av mye kaldt og klart vær. Det kom ca 30 mm med nedbør som økte snømengden, mens det kalde været kan ha ført til en temperaturgradientmetamorphose, uten at det er dannet begerkrystaller. Den vanlige nedbrytende metamorfosen har selvsagt ført til mindre snøkorn og bedre sintring i de delene av snøpakka som ikke er påvirket av den kalde lufttemperaturen. Forskjellen på profil en og to er likevel noe overraskende ut fra værforholdene. Forklaringen ligger både i avstand mellom profilene og fordi profil 01 var den

første som ble gravd og en må anta at det er noen nybegynnerfeil som har blitt begått.



Figur 4.6. Sammenligning av hardhet i profil 0303 målt med rammsonde til venstre og håndtest til høyre.

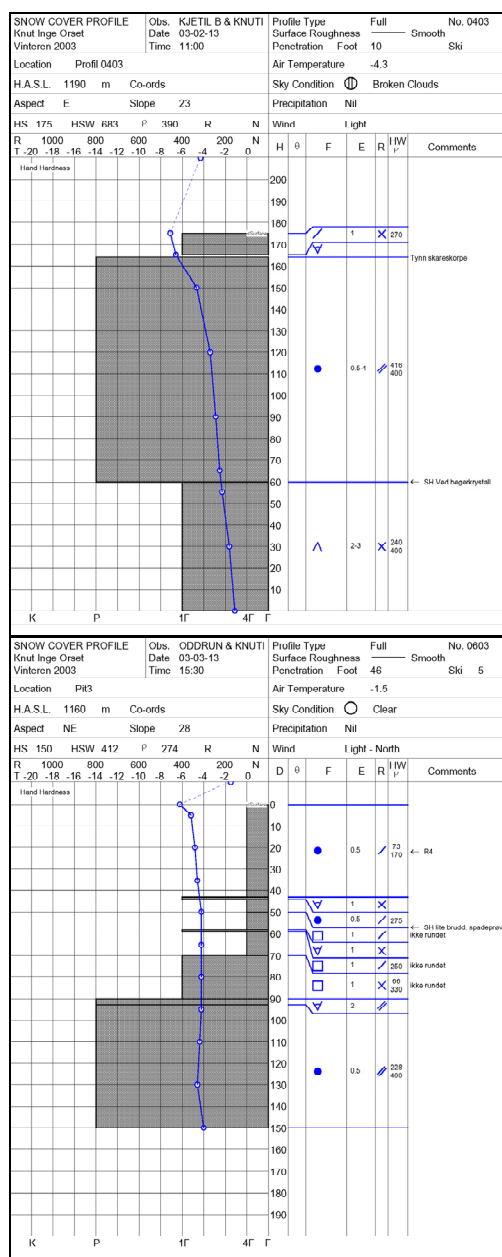
Sammenligningen mellom de to metodene for å teste hardhet, figur 4.6 viser store forskjeller. Spesielt er det vanskelig å se likheter i de harde lagene for begge metodene. Disse forskjellene og tidsforbruket på en slik måling gjorde at resten av profilene kun ble målt med håndtest.

Profil 05 ble gravd 13/3. Ved graving av profil 03 ble det lagt en tråd i snøoverflata. Denne ble gjenfunnet ved skarelag på 135 cm. Snøpakka

hadde dermed sunket sammen 25 cm i de øverste lagene, mens begerkrystall laget bare hadde blitt 4 cm tynnere. Det er tydelig at det likevel er vanskelig å gjenkjenne de enkelte lagene fra gang til gang, hovedsakelig fordi metamorfosen hele tiden endrer lagene. Selv om det var 20 cm nysnø var skredfaren liten i dette området fordi det var løs snø som ikke var vindpåvirket. De litt svake lagene lengre ned vil derfor ikke bli utsatt for nok skjærstress til at de kollapser. Skarelagene har også blitt betydelig hardere i dette profilet og blitt betegnet som is. Met.dataene viser 35 mm nedbør, hovedsakelig siste uke og temperaturer stort sett under 0 °C.

Profil 08 ble gravd 29/3 og den største forskjellen var at snøpakka hadde blitt isoterm. Samtidig var den nedre delen av snøpakka mer homogen. En kunne fortsatt finne de fleste

snøen hovedsakelig hadde falt de siste dagene, var det ikke så stor forskjell fra 01. Begerkrystallaget på bunnen var noe tynnere og det ble funnet et relativt løst lag midt i snøpakka. Dette indikerer at vinden ikke har hatt lik påvirkning i profil 01 og 02. Et større parti med isotherm snø ble også funnet nærmere overflaten. Spadeprøve gav ikke uventet utglidning i overkant av det løse laget midt i snøpakka, men det måtte stor belastning til og stabiliteten ble derfor vurdert som god. Ut fra temperaturkurven som er nær 0 °C i hele snøpakka, kan man anta at metamorfosen har gått relativt raskt og at snødekket har stabilisert seg.



Figur 4.8a og b. Profil 0403 og 0603

Profil 0403 ble gravd opp mot Grasdalsbreen i en østlig skråning. Snødekket viste seg å inneholde få, men store lag med blant annet 60 cm begerkrystall i bunnen. Dette hadde hardhet 1 finger, altså hardere enn ved stasjonen. Det homogene fokksnølaget hadde relativt store korn fra 0,5-1 mm. Hardheten antyder kraftig vindpåvirkning i dette laget. I det overliggende laget var det en tynn skareskorpe med noe omdannet nysnø på toppen. Spadeprøve viste utglidning i overkant av begerkrystall, men det krevdes stor belastning. Temperaturen hadde også en jevn gradient fra -7 °C i overflaten til -1,5 °C ved bunnen. De dypere skarelagene som fantes nede på stasjonen var det ingen tegn til her.

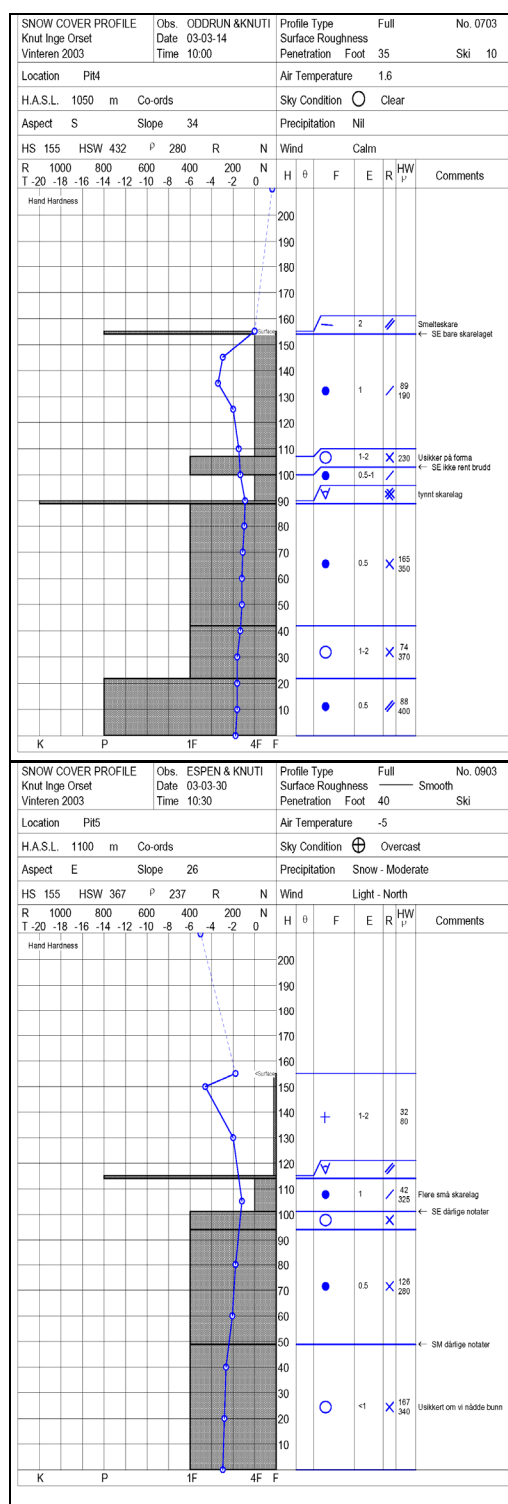
Profil 0603 ble gravd uten å nå bunnen og stikking med sondestang indikerte minst fire meter snø. Eksposisjon var nordøstlig og helning 28 grader. Mye løssnø den øverste halvdelen indikerer også at det i dette området akkumuleres mye snø, siden det kun var 20 cm på stasjonen. De tynne skarelagene tyder på at sola har begynt å få betydning på dager

med klarvær. Lengre ned er det hardpakkede avrundete korn med veldig stor tetthet. Spadeprøve gav brudd mellom refrosset og tørt lag ved 50 cm dybde. Men det var ikke noe tydelig og rett brudd. Tok også en kompresjonstest der det var kollaps ved 20, 35 og 43 cm. Selv om det ikke var bratt nok og vanskelige snøforhold ble det også tatt en rutsjblokktest.

Fikk da utglidning ved 22 cm ved test 4, dvs. at en person med ski hopper og lander i samme posisjon. Fikk også et brudd på 50 cm. Problemet var at snøen var så løs at det ikke ble rene brudd og siden det ikke var bratt nok sklei ikke laget skikkelig ut. Likevel en indikasjon på at det noen plasser kunne være skredfare.

Profil 0703 ble gravd på 1050 m med sydlig eksposisjon og med helning på 34 grader. Klarværet gjorde at overflaten hadde et tynt skarelag. Temperaturforskjellen mellom dag og natt gjenspeilet seg i at nattens kuldebølge var lett å måle i det underliggende fokksnølaget. Videre nedover var temperaturen synkende, noe som tydet på at hele snøpakka nærmet seg 0 °C. Skarelaget på 90 cm var en overgang til et mye mer homogent lag med en fingers hardhet og hovedsakelig avrundete korn. Det dypeste laget var av blyants hardhet. Spadeprøver som ble gjort gav utglidning på det øverste skarelaget og i underkant av 1-finger lag på 100 cm, men dette var ikke rene brudd.

Profil 0903 ble gravd i 1100 meters høyde med østlig eksposisjon og 35 cm med nysnø på toppen. Det underliggende skarelaget var en tynn smelteskare, mens det dypere ned også inneholdt flere små skarelag. Her fikk vi også utglidning med spadeprøve, men ikke noe rent brudd. Lengre



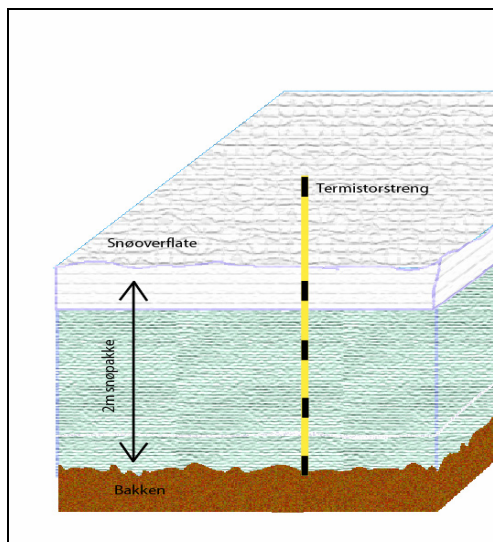
Figur 4.9 a og b. Profil 0703 og 0903

ned var snøen homogen, og vi fikk utglidning mellom avrundete korn og refrosne på 50 cm. Var usikre på bunnen ble nådd. Temperaturprofilet bar også her preg av dag og natt variasjoner samt kaldest ved bunnen, noe som også indikerer at profilet ikke nådde bakken.

Alle profilene som ble gravd gjennom vinteren viser at snødekket ikke har vært spesielt ustabil ved noen anledninger. Siden det ikke gikk noen skred kan en jo konkludere med at dette stemmer. Likevel er det selvsagt mange usikkerheter her. Bare på de profilene som ble gravd er det store forskjeller og som det er poengtert mange ganger tidligere, varierer snøen fra plass til plass. Profiler i full størrelse ligger i Appendiks.

4.4. Værdata vinteren 2002/2003

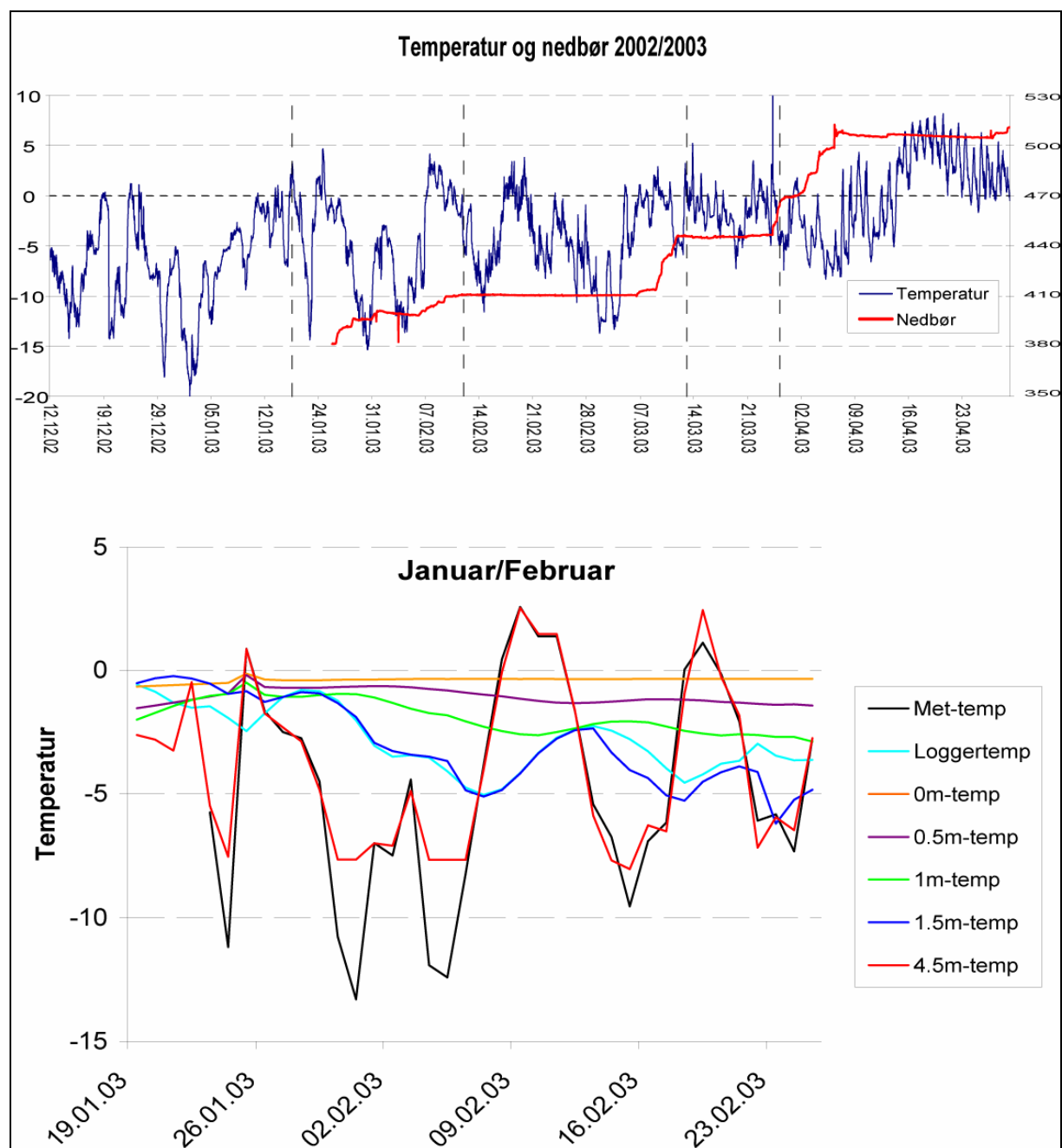
En viktig del av oppgaven vil være å sammenligne meteorologiske data med snøprofildataene og se om dette kan brukes til en mer nøyaktig varsling. Den største mangelen på de meteorologiske dataene er at den akustiske snøhøydemåleren ikke fungerte. En kan selvsagt estimere nysnømengde ut fra nedbør, men ideelt sett bør nysnømengde måles. På grunn av at Campell loggeren ikke fungerte skikkelig ble måleserien relativt amputert. Prøvde likevel å



Figur 4.10 Snøpakka på Fonnbu med termistorstreng

sammenligne termistordataene med dataene fra met-observasjonene. Siden noen av termistorene ikke var dekket av snø, kunne også disse brukes for å gi lufttemperatur. Sammenligningen av termistordata og de meteorologiske data viser god korrelasjon, bortsett fra problemer ved kalde temperaturer, se figur 4.11. Det virker som termistorene ikke måler kaldere temperaturer enn ca -8 °C. Dette ville uansett ikke vært noe problem nede i snøpakka, slik som planen var. At lufttemperaturene ikke er helt i samsvar noen steder kan ha med for eksempel direkte solinnstråling, høyden fra snøoverflata som varierte og andre feil fordi termistoren ikke var

plassert i en observasjonshytte. Det er også over 100 meter mellom målepunktene. Målsettingen her var uansett å se hvordan snøtemperaturen reagerte på lufttemperaturen nedover i snøpakka og ikke korrelasjonen mellom lufttemperatur ved de to målepunktene.



Figur 4.11. Oversikt over lufttemperatur og nedbør vinter 2002/2003 og snøtemperatur den måneden loggeren virket. Met-data hentet fra met.stasjonen på Fonnbu, mens de andre er fra termistorstrengen. Grunnen til at lufttemperaturen ikke er lik på de to er at termistoren ikke fungerer kaldere enn ca -8 °C og at det er svart krympeplast utpå termistoren, som kan gi høyere temperatur i sola. Profilene er markert med de stiplede linjene.

Det største problemet ble derfor at snøhøydemåleren ikke fungerte og at snødybden ved de enkelte termistorene var noe usikker. Som forventet er temperaturen ved bunnen veldig stabil. Den steg litt i løpet av perioden fra -0.7°C til $-0,3^{\circ}\text{C}$. En varmere periode ca 25. januar skyldes nok temperaturer over 0°C og regn, men det er likevel rart at temperaturen sank igjen såpass raskt. En sannsynlig forklaring er at regnvann trengte ned langs strengen, og skapte en rask temperaturstigning lokalt, ($0,3^{\circ}\text{C}$ på en time ved bunnen). Når dette vannet frøs ville temperaturen raskt synke til sin opprinnelige temperatur igjen. Temperaturfallet ville ikke skje så raskt hvis det var refrysing og avgivelse av latent varme i hele snøpakka.

En temperatursammenligning ved graving av profil 0303 og termistordataene viste noe avvik ved bunnen, men siden det er noen meter mellom målestedene kan en ikke si at målingene er feil. Bakken kan ha forskjellige termiske egenskaper, samt de faktorer som er nevnt tidligere. En kan ikke forvente at bakketemperaturen har sunket fra januar målingene. Lufttemperaturen er ikke sammenlignbar siden det var delvis sol.

Tabell 4-2. Temperaturforskjeller på termistor og profil 12/2-2002

	Bunn	50 cm	100 cm	150 cm	Luft
Profil	-0,9	-1,8	-2,1	-2,7	-3,1
Termistor	-0,4	-1,3	-2,3	-2,4	-1,5

Betydning av høyde over havet for snøtemperatur

Spørsmålet er i mange tilfeller hvor representative målingene på Fonnbu er i forhold til løsneområdet. Ved de tre anledningene det ble gravd profiler i den østlige fjellsiden er det gjort en sammenligning mellom målefelt og de aktuelle profilene. Selv om det helt sikkert er store forskjeller fra profilene til løsneområdet, vil det være en indikasjon på blant annet temperaturforskjellene.

Profil 0403 ble gravd på ca 1190 m og profil 0303 på 920. 0403 ble gravd en dag senere, uten at de skal ha noen betydning.

Tabell 4-3. Temperaturforskjeller mellom 0403 og 0303

	Bunn	50 cm	100 cm	150 cm	Luft
Profil 0403	-0,9	-1,8	-2,1	-2,7	-4,3
Profil 0303	-0,2	-1,1	-1,4	-2,0	-2,4

Profil 0603 ble gravd på litt over 1100 m og 0503 ble gravd på 920 m. Her er profilene gravd på samme dag.

Tabell 4-4. Temperaturforskjeller mellom 0603 og 0503

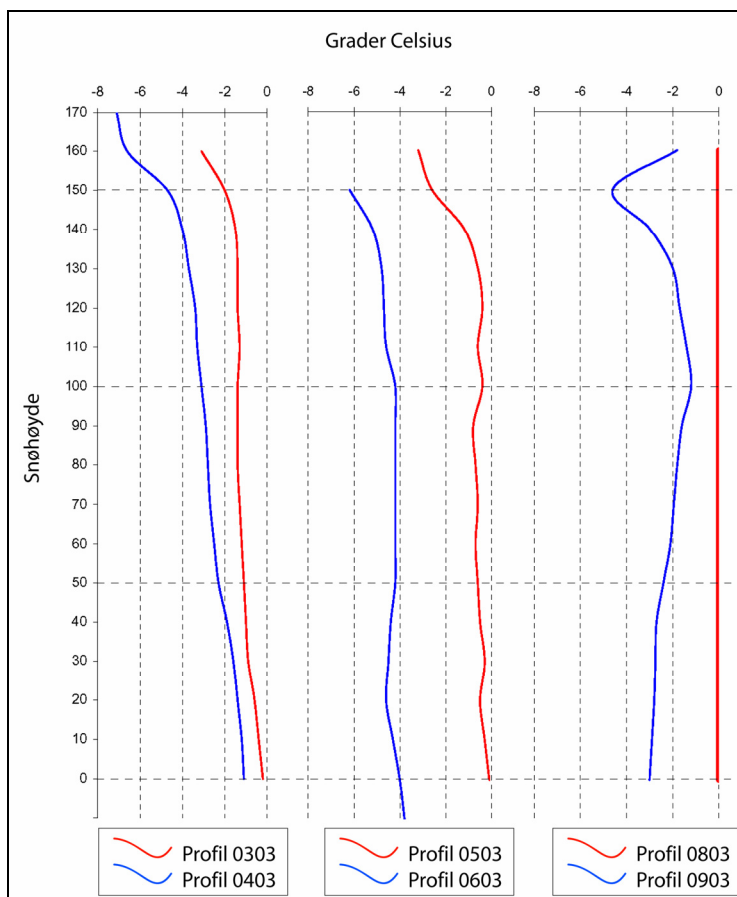
	Bunn	50 cm	100 cm	150 cm	Luft
Profil 0603	-4*	-4,2	-4,2	-6,2	-1,5
Profil 0503	-0,1	-0,6	-0,4	-2,6	-1,6

*Profilen nådde ikke bunnen.

Profil 0903 er gravd på 1050 m og 0803 på 920. Her er det 1 dag mellom gravingene.

Tabell 4-5 Temperaturforskjeller mellom 0603 og 0503

	Bunn	50 cm	100 cm	150 cm	Luft
Profil 0903	-3	-2,4	-1,2	-4,6	-5
Profil 0803	0	0	0	0	1,2



Figur 4.12. Temperaturforskjeller i ulike høyder ved tre forskjellige tidspunkt. 0603 nådde ikke bunn og med 0903 er det usikkert om bunnen ble nådd på grunn av islag.

De tre sammenligningene i figur 4.12 viser en klar forskjell i temperatur selv om høydeforskjellen ikke er så stor. Siden bunnen sannsynligvis ikke ble nådd i to av profilene er det ikke lett å si noe sikkert. Det er i disse to hendelsene at temperaturavviket er størst også. Profil 3 og 4 er bra korrelert og har minst temperaturforskjell ved bunnen. Profil 5 og 6 er godt korrelerte og har like stor temperaturforskjell gjennom hele snøpakka. Profil 8 og 9 viser en helt annen trend siden snøtemperaturen ved Fonnbu hadde blitt isotherm. De tydelige døgnvariasjonene i det øvre profilet indikerer klarvær med store forskjeller på dag og natt.

4.5. Logistisk regresjon

Analysen i S-Plus ble gjort med standard innstillinger og kjørt flere ganger med ulike kombinasjoner. Siden t-verdiene varierte relativt mye var det mye prøving for å finne den beste kombinasjonen. Et annet problem var at mange av variablene var avhengige av hverandre, for eksempel 6-timersnedbør og døgnsnedbør. I utgangspunktet bør alle variabler være uavhengige, men dette er vanskelig i praksis. For 3-timersnedbør og 3-døgnsnedbør vil uansett ikke avhengigheten være veldig stor. Siden en del data var ufullstendige og det fantes flere skredhendelser på en dag, ble det gjort en sammenligning med og uten disse dataene, se tabell 4-6 og tabell 4-7. En ser noen forskjeller på t-verdiene, uten at det virker å være av stor betydning. Valgte uansett å gå for det siste alternativet der dataene er mer korrekte fra et statistisk synspunkt.

Tabell 4-6. Rapport fra S-plus med alle data

	Verdi	Standardfeil	t verdi
Konstant	-5,144683133	1,194707560	-4,3062280
Døgnsnedbør	0,098940688	0,024324902	4,0674650
Døgnvind	0,176368328	0,197665442	0,8922568
Makskast	0,073288988	0,049574372	1,4783644
Snitttemp	0,022810440	0,067202990	0,3394260
Døgnretning	0,004278837	0,004647828	0,9206100

Tabell 4-7. Rapport fra S-plus der mangelfulle og ikke avhengige data er fjernet

	Verdi	Standardfeil	t verdi
Konstant	-4,922743150	1,20283572	-4,0926147
Døgnsnedbør	0,096780922	0,02402134	4,0289554
Døgnvind	0,183689129	0,19885143	0,9237506
Makskast	0,063725302	0,05160755	1,2348058
Snitttemp	0,033555652	0,06872907	0,4882308
Døgnretning	0,004119772	0,00457056	0,9013715

Det viste seg også at feilverdier på makskast fikk stor betydning. Det er urealistisk at denne verdien kommer over 50 m/s så disse er rettet til snittverdien timen før og timen etter.

Etter at alt dette var ordnet stod datasettet igjen med 130 observasjoner derav 25 skred. Ved første testing ble det store problemer med vindretning. Det viste seg at 359 og 0 grader gav helt forskjellig sannsynlighet for skred, selv om vindretningen er den samme. Selve regresjonen ble derfor kjørt med inndelingen vist i tabell 3-7. For å ha noe å sammenligne med, ble det laget tre versjoner av modellen der det kun er modell tre som tilfredsstiller kravene til signifikanssannsynlighet, se tabell 4-8, tabell 4-9 og tabell 4-10. Konfidensintervallene i tabellene under er beregnet ut fra formel 4-1.

$$b_x \pm t \times SE_{b_i} \qquad \textbf{Formel 4-1}$$

Her er b_x koeffisienten, t er verdien for $t(n-2)$ frihetsgrader, hentet fra en t -fordelingstabell og SE er standardfeil for de enkelte koeffisienter. Med ca 100 frihetsgrader og 95 % konfidensnivå finner man verdien 1,984 i tabellen for t -fordeling av kritiske verdier (Moore og McCabe, 1999). Resultatene viser at intervallet for det enkelte faktorer er svært stort og mange indikerer negative verdier innenfor intervallet. Med utgangspunkt i de meget usikre variablene ble derfor ikke disse verdiene brukt til annet enn observasjon av forskjellene. Det eneste en med 95 % sikkerhet kan si er at høyere makskast og 3-døgnsnedbør gir større skredfare.

Tabell 4-8. Utskrift fra S-plus der alle variabler er tatt med (modell 1)

Koeffisienter	Konfidensintervall				
	Verdi	Standardfeil	t verdi	Fra	Til
Konstant	-9,41693376	2,61055145	-3,60725844	[-14,60	-4,24]
3-timersnedbør	-0,24523325	0,42714860	-0,57411694	[-1,09	0,60]
6-timersnedbør	-0,03857090	0,22767406	-0,16941282	[-0,49	0,41]
Døgnsnedbør	0,04258143	0,05392310	0,78966946	[-0,06	0,15]
3-døgnsnedbør	0,06257119	0,02524543	2,47851558	[0,01	0,11]
Endring intensitet	0,44833268	0,71862895	0,62387228	[-0,98	1,87]
3-timersvind	0,35622628	0,49475843	0,72000041	[-0,63	1,34]
6-timersvind	-0,68656179	0,54406330	-1,26191526	[-1,77	0,39]
Døgnvind	0,42767042	0,38230004	1,11867742	[-0,33	1,19]
3-døgnsvind	0,23370546	0,37706079	0,61980844	[-0,51	0,98]
Endring vind	0,94236214	0,79957856	1,17857355	[-0,64	2,53]
Maks kast	0,10187275	0,06275769	1,62327128	[-0,02	0,23]
Maks temp	0,05286579	0,30270584	0,17464409	[-0,55	0,65]
Snittemp	-0,02122241	0,29557340	-0,07180081	[-0,61	0,57]
Endring temp	0,22467319	0,64778731	0,34683173	[-1,06	1,51]
3-timers retning	0,04811684	0,53383393	0,09013447	[-1,01	1,11]
Døgnretning	0,42091490	0,56281328	0,74787664	[-0,70	1,54]
Endring retning	0,44728162	0,31504131	1,41975546	[-0,18	1,07]

Hvis en ser på t-verdiene i modell 1, er det bare 3-døgns nedbør som har en tilfredsstillende signifikanssannsynlighet. Dette kan selvsagt brukes, men når usikkerheten er så stor for mange av variablene, kan en ikke forvente å få et riktig varsel heller. Verdier for sekstimersvind har en negativ verdi, noe som medfører at lite nedbør i denne perioden gir større sjanse for skred. Den kan selvsagt ikke bli mindre enn 3-timers nedbør. En utvelgelse av de viktigste variablene måtte derfor til for å få høyere t- verdier. Etter mange forsøk ble modellen stående igjen med kun to variabler, nemlig 3-døgns nedbør og maks vindkast siste døgn. Temperaturverdier var umulig å få over 1 i t-verdi. Endring av vindhastighet var den som kom nærmest for middelvind med 1,3, noe som gir en signifikans på 0,19. Endring av vindretning kom blant de nest beste variablene med 1,4, eller en signifikans på 0,16, se tabell

4-9. Det var også flere av nedbørsvariablene som hadde høy t-verdi, men siden de ikke er uavhengige ble kun den med høyest t-verdi valgt.

Tabell 4-9. Variabler med god signifikans (modell 2)

Koeffisienter	Konfidensintervall				
	Verdi	Standardfeil	t verdi	Fra	Til
Konstant	-7,12873741	1,64928718	-4,322314	[-10,40	-3,86]
3-døgnsnedbør	0,06331238	0,01321998	4,789144	[0,04	0,09]
Maks kast	0,13801304	0,04586619	3,009037	[0,05	0,23]
Endring retning	0,36604441	0,25909915	1,412758	[-0,15	0,88]
Endring vind	0,48039427	0,37088544	1,295263	[-0,26	1,22]

Tabell 4-10. Modell 3 med bare to variabler.

Koeffisienter	Konfidensintervall				
	Verdi	Standardfeil	t verdi	Fra	Til
Konstant	-5,54251783	1,04194805	-5,319380	[-7,61	-3,48]
3-døgnsnedbør	0,06291059	0,01288672	4,881815	[0,04	0,09]
Maks kast	0,13664371	0,04379118	3,120348	[0,05	0,22]

For å kontrollere modellen ble sannsynligheten for to varsel, to skred og hele vinteren 1988/89 beregnet. Dette ble gjort i Excel der logiten og sannsynligheten ble beregnet med formel 3-3 og formel 3-4. De to varslene var 30/1-1995 og 4/2-1999, begge med varsel om stor snøskredfare. Skredene som ble valgt gikk 16/1-1989 og 18/2-1989. Resultatene er vist i tabell 4-11. En ser at det er store variasjoner, spesielt ved hendelse 1. Varsel for stor skredfare tilsier at det er mer enn 20 % sannsynlighet for skred og dette var ikke tilfelle ved det første varslat ifølge modell 1. De andre er alle over meget stor skredfare, fare 5 ifølge modellene. For de to skredene var faregraden mer stabil og alle tilsvarer meget stor skredfare.

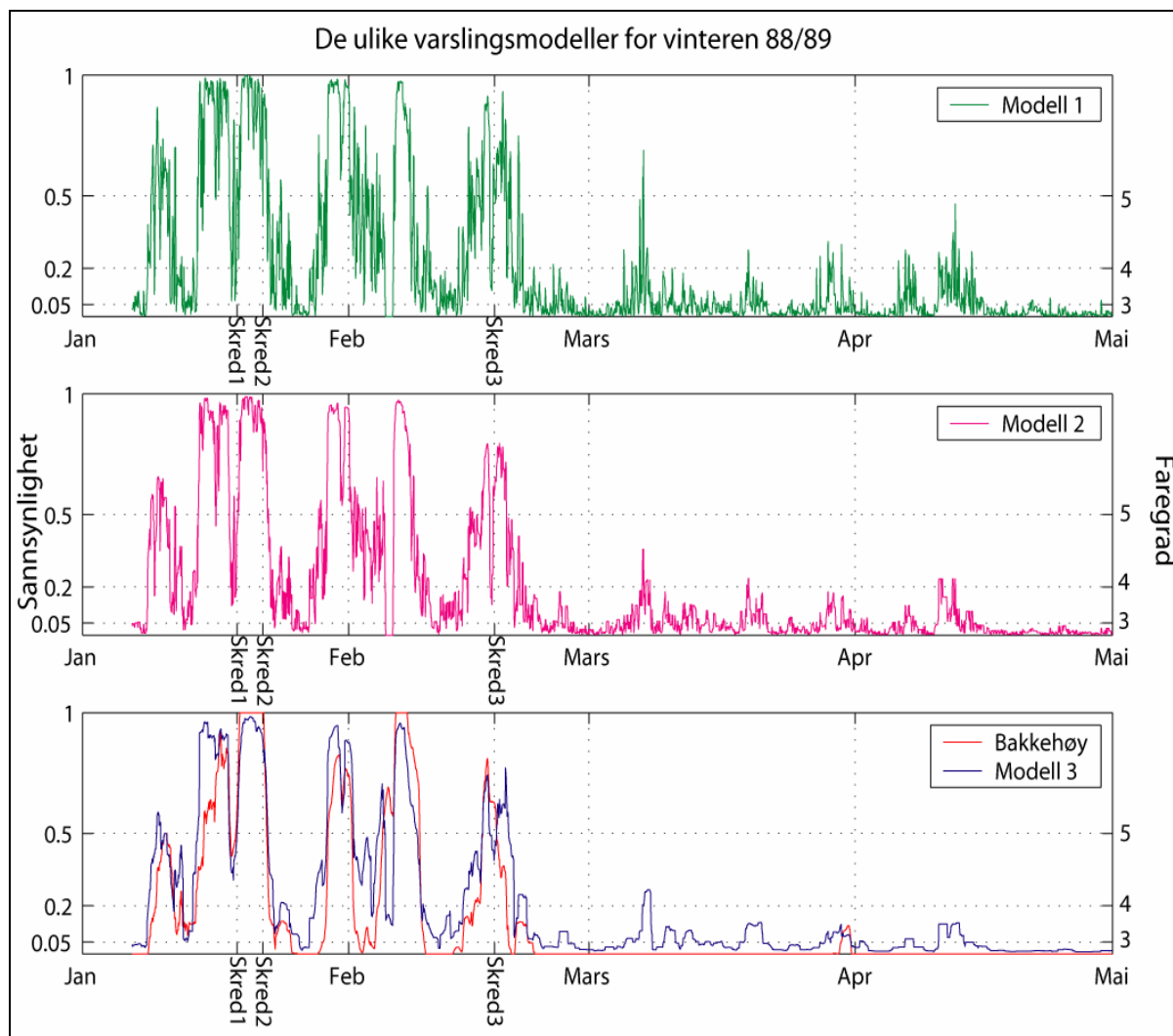
Tabell 4-11. Resultat til for de to hendelsene som ble valgt

Skredvarsel, ikke skred			Skred		
Dato	Modell	Sannsynlighet	Dato	Modell	Sannsynlighet
31.1.1995	Modell 1	13 %	16.1.1989	Modell 1	56 %
	Modell 2	52 %		Modell 2	57 %
	Modell 3	33 %		Modell 3	83 %
4.2.1999	Modell1	84 %	18.2.1989	Modell1	63 %
	Modell 2	92 %		Modell 2	76 %
	Modell 3	84 %		Modell 3	59 %

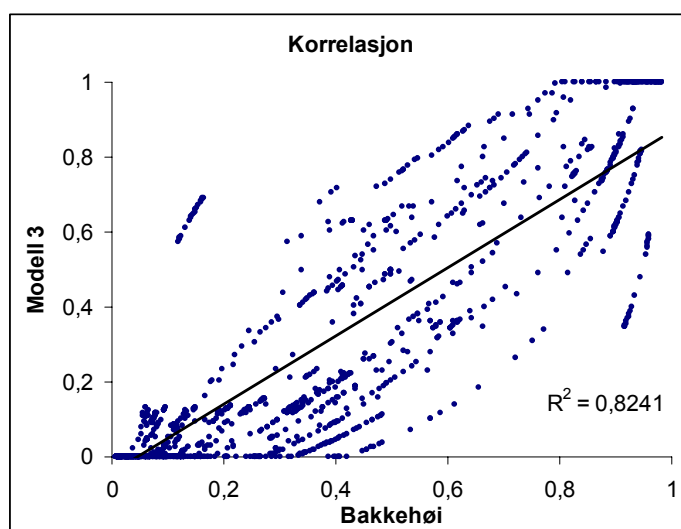
Det virker ikke å være noen trend at noen modeller predikerer for høyt og noen for lavt. Men en må gå ut fra t-verdiene og dermed anta at det er modell 3 som gir beste varsel. Samtidig vet en at ikke denne modellen tar hensyn til mange variabler en forventer har betydning for skredfaren.

Modellene som ble kjørt for et helt år viste generelt like verdier, men modellen med alle faktorer har enormt store variasjoner over lite tidsrom, se figur 4.13. Dette blir det mindre av til færre faktorer modellen har. Likevel finnes det slike hopp også der det er to faktorer. Dette tyder på at det er feil med data, for eksempel at makskast blir 0 m/s. Sammenligning med skredhendelsene denne vinteren viser ganske god korrelasjon. Skred 1 går i det skredfaren passerer fare 5 og det er nok grunnen til at det ikke går skred når skredfaren er nærmere 100 %. Skred 2 går i det skredfaren begynner å avta, men er likevel nærmere 100 %. Det har nok sammenheng med at det tok litt tid før snømengdene bygde seg opp igjen og det faktum at mange skred går noen timer etter at nedbøren har sluttet. Ved skred 3 viser de fleste modellene at sannsynligheten avtar, men er likevel nær 50 %. Høyeste sannsynlighet var ca et døgn tidligere. I modell 1 derimot ser det ut til å være en økning i sannsynlighet akkurat når skredet gikk. Dette indikerer at de store variasjonene i denne modellen faktisk kan fange opp en del hendelser som de andre modellene ikke klarer. Likevel er det ingen av modellene som viser direkte lav sannsynlighet og alt over 4 (stor skredfare) er grunn til å følge ekstra nøye med. Det ble også gjort en sammenligning mellom den enkle nedbørsmodellen utarbeidet av Bakkehøi (1986) på grunnlag av den kumulative sannsynlighetsfordelingen for tredøgnsnedbør. Dette er gjort enkelt ved å tilpasse en tredje ordens polynomfunksjon til denne normalfordelingskurven og sammenligne med modell 3 i figur 4.13. At resultatene er

relativt like, er ikke overraskende men likevel er det forskjeller på sannsynligheter nær 0 og 1. Blant annet predikerer denne modellen verdier utenfor den teoretiske sannsynligheten. Her viser resultatene både høyere og lavere verdier og det er ikke gjort forsøk på å normalisere verdiene innenfor intervallet. Det vil ikke være disse verdiene som er mest interessante likevel. Korrelasjonen mellom modellene er vist i figur 4.14 og r kvadrert (r^2) er på 0,82. Noen uteliggere kan sees, men på grunn av mange usikkerheter med tilordningen av selve modellen ble ikke disse fjernet.



Figur 4.13. Oversikt over de tre modellene og sammenligning med Bakkehøy for vinteren 1988/89.



Figur 4.14. Korrelasjon mellom modell 3 og nedbørsmodell utarbeidet av Bakkehøy.

5. Diskusjon

I diskusjonen vil temaene i oppgaven bli belyst på en litt annen måte enn tidligere. Siden summen av de forskjellige faktorene vil være en vurdering av hvordan varsle skredfaren på Strynefjellet, blir dette belyst til slutt etter at de enkelte faktorene er diskutert.

5.1. Snødekket

Vurdering av snødekket er gjort ut fra de snøprofiler som er gravd gjennom vinteren 2002/03. Spørsmålet er om snøprofilene kan gi noen forklaring på hvorfor det ikke gikk skred denne vinteren. Når en graver et snøprofil ønsker en at profilet skal være representativt for et stort område. Hvor stort dette området er, kan en ikke vite uten å grave et uendelig antall profiler. Variasjonen vil også være større i en fjellside enn på en flate. Dette innebærer at hvis en finner et svakt lag i en fjellside, så vil sannsynligvis flere områder ha svake lag. Finner en derimot ikke noen svake lag, kan en ikke utelukke at det likevel finnes. Dette har blitt mer aktuelt etter at teoriene om supersvake soner har blitt akseptert. Et annet problem ved graving av snøprofil, er at lokaliteter i ei fjellside blir valgt ut fra de gjeldene forhold. En ønsker ikke å bli tatt av skred selv, så derfor blir ikke profilene gravd i heng der faren er vurdert som størst. Hva som er leside varierer med vindretning, og de lokale topografiske faktorene er svært forskjellige, ikke bare som et resultat av selve topografien, men også de endringene som skapes gjennom pålagring av snø. Mens noen områder vil være skredutsatte tidlig på vinteren når snømengdene er små, kan andre områder bli skredfarlige først når snødybden når et visst nivå.

Profilene på testfeltet vil gi en litt annen informasjon enn selve skredfaren. Siden dette er ca 400 m lavere enn løsneområdet vil ulike snølag ha helt forskjellig karakter i de to områdene. Men som en indikasjon på snødekkets utvikling vil dette være et mye bedre studieområde. Det mest overraskende, rent bortsett fra mangel på tydelige svake lag var problemene med å kjenne igjen lagene mellom hver graving. En skulle forvente at både harde og homogene vindtransporterte lag ville holde seg stabile mellom skarelagene som ble funnet. At mange av disse skarelagene forsvann viser at metamorfosen i snøen har stor betydning lang tid etter at snødekket har stabilisert seg, selv uten fritt vann til stede.

En nøyte studie viser at stadig større deler av snøpakka inneholder våte korn som er refrosset. Dette indikerer en mer vekslende temperatur enn det som framgår av snøprofilene. Dette bekreftes også av met.dataene på værstasjonen. Latent varme som frigis når vann refryser gir en hurtig oppvarming, men når dette igjen fryser er det snøens varmeledningsevne som er avgjørende. En kan derfor anta at snøpakka har sunket sammen mer enn det som er antydnet i figur 4.5. Det homogene fokksnø laget som hadde ca 80 cm tykkelse ved første graving var sunket sammen til 40 cm ved neste graving og det overliggende laget med våte og refrosne korn, er ikke så gammelt som først antatt. Selv om hardheten er den samme (1 finger) har tettheten økt fra ca 250 kg/m^3 til 350 kg/m^3 . At tetthet og hardhet ikke nødvendigvis har direkte sammenheng med hverandre, er viktig å ha i tankene når snøprofil skal graves.

Når en antar at snøpakka har sunket sammen relativt mye og at regn kan forklare en del av dette i de øvre lag, kan en ikke forvente at det er lett å finne igjen de øvre lagene fra profil 01 til 03. Dette kan også forklare hvorfor skarelag i profil 03 er såpass kraftige. Sammenligner en med profil 05 er ikke skarelaget like tydelig og spørsmålet blir da om det er metamorfose som er grunnen. Dette kan ikke utelukkes siden det er en måneds intervall, men siden profilet også er gravd en halv meter lengre fram, kan en ikke utelukke at snødekket er forskjellig. Småskavler og andre ujevnheter kan gi store variasjoner på små avstander. Som kommentar da profilet ble gravd er det beskrevet mange små islag og det er ofte et definisjonsspørsmål om det er ett tykt islag eller mange tynne.

Når det gjelder selve observasjonene, er det mange feilkilder og subjektive vurderinger som ligger til grunn. Forskjellige ”nybegynnerfeil” som vurdering av hardhet, størrelse og form på snøkorn krever en god del trening og en må gå ut i fra at det ble færre feil for hvert profil som ble gravd. Det samme gjelder feil på utstyr som termometer og vekt, men det samme utstyret ble benyttet hver gang så det kan ikke forklare endringer av temperatur og tetthet. En bør likevel være forsiktig med å konkludere noe sikkert ut fra såpass få observasjoner.

De profilene som ble gravd oppe i fjellsidene skulle gi et mer realistisk bilde av skredfaren. Egen sikkerhet var selvfølgelig førsteprioritet. De enorme variasjonene i snømengder viser kompleksiteten i selve graveprosessen. På den ene siden ønsker man å få et profil som går gjennom hele snøpakka, samtidig som en ønsker å finne de områdene der det bygger seg opp mest snø, og dermed størst fare for skred. På den andre siden ønsker en å ikke grave for mye siden det tar tid. Flere middels dype profiler er bedre enn ett dypt. For snøskredformål er det

sjelden hensiktsmessig å grave dypere enn en til to meter. De profilene som ble gravd var derfor mellom 1,5 og 2 m. Trenden blant alle disse profilene var en mye mindre variasjon gjennom snøpakka, samt lavere temperatur. Ved flere anledninger ble de tydelige drønnene forårsaket av at luft blir presset ut av snøen observert, noe som er et vanlig tegn på skredfare. Ved graving ble ikke dette registrert, verken som tynne lag med lav hardhet eller at sammensynkningen kunne sees ved belastning. Når en først har hørt kollapsen, er det også sannsynlig at laget som forårsaker drønnen blir presset sammen og dermed svært vanskelig å observere.

Profilene over 1000 moh. inneholdt noen lag med refrosne korn samt is/skarelag. Men hovedsakelig avrundete vindtransporterte korn. Dette indikerer at metamorfosen går mye senere og dermed vil skredfaren holde seg lengre etter snøfall. Tetthet og hardhet var generelt mye større, men det var likevel forskjeller i hardhet innenfor lag med relativt lik kornstørrelse og kornform. Dette kan tyde på at mengden av snø som avsettes varierer. Hvis nedbørsintensiteten avtar vil for eksempel vinden kunne jobbe mer med hvert enkelt snøkorn og laget bli hardere enn hvis vindhastigheten avtar og intensiteten øker slik at snøen legger seg uten å bli flyttet av vinden. Dette kan gjenspeile seg som tynne lag som er svært vanskelig å måle, men likevel viktige for stabiliteten.

Siden bare to av profilene nådde bunnen, er det vanskelig å si noe om forskjellene i mengden begerkrystaller, men det var store forskjeller i disse to profilene. I profil 04 var begerkrystallaget overraskende tykt, hele 60 cm. Dette indikerer stor temperaturgradient over lang tid. Ofte vil kald luft samles i dalbunnen og forsenkninger slik at krystallene utvikler seg i løpet av en periode med klart vær. Snødekket i fjellsidene er ofte enten for tykt slik at gradienten ikke blir stor nok eller svært tynt, for eksempel mellom steiner og kvister. Uansett vil et slik lag i en fjellside holde seg ustabil så lenge det ikke kommer inn fritt vann og ødelegger strukturen. Men et begerkrystallag er ofte dekket av harde lag som skare eller fokksnø. Dette gjør at det skal store krefter til før laget kollapser. Likevel er dette en skjult skredfare som kan bli spesielt farlig utpå våren i det skarelagene begynner å løse seg opp, og dype brudd kan oppstå.

I profil 0703 var begerkrystaller helt fraværende, kanskje fordi det er en sørlig skråning, men med den lave temperaturen som ble funnet ($-1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$) og vindtransportert snø har eksposisjonen lite å si, spesielt fordi sola har minimal betydning på den tiden av året når den første snøen

kommer. Det er mer sannsynlig at området ikke var dekket av snø ved den kalde perioden da begerkrystallen ble dannet. Dermed har kuldeperioden gitt en relativt kald bakketemperatur før snøen la seg. Når først snøen kom var bakken så kald at temperaturgradienten ikke ble stor nok for å danne begerkrystaller.

De store forskjellene som ble observert viser at det er vanskelig å snakke om snødekket i Grasdalen som en homogen enhet, spesielt siden snømengdene denne vinteren ikke var veldig store. Det tynne snødekket som var underlaget før den kraftige nedbørsperioden i januar kan også være en grunn til at det ikke gikk skred fordi mange ujevnheter som stabiliserer snødekket fortsatt stakk opp og hadde hindret utvikling av et stort svakt lag, både før og under nedbørsperioden. Så lenge alle profilene indikerte stabilt snødekke og det ikke gikk skred, er det mindre viktig rent varslingsmessig hvor vekslende snøpakka var og hvordan den varierte. Dette ville en uansett ikke klart å kartlegge med den tiden og utstyret som var til rådighet. Det interessante er å grave profiler og finne svake lag i en fjellside for så å observere skred i samme fjellsiden i etterkant. Det mest ugunstige er å konstantere at snøpakka er stabil, for så å oppleve skred rett etterpå. Siden snøprofiler krever at man er i det farlige området, vil en aldri kunne basere seg på slik varslingsmessig, men det vil ofte være et supplement i situasjoner der en ferdes i skredfarlig terreng, for eksempel fjellturer eller arbeid med tele/kraftlinjer. For generell varslingsmessig av skredfare for bebyggelse og veinett må en basere seg på andre metoder. Likevel er undersøkelse av snøpakka særdeles viktig for forståelsen av de fysiske prosessene og lære seg å skille snøtyper og lagdeling. Det samme gjelder ved modellering av snøen gjennom vinteren slik som de mer avanserte skredvarslingsmessige systemene i Europa gjør (Bartelt og Lehning, 2002, Brun et al., 1992, Föhn, 1998). Da er nøyaktige snøprofiler viktige for å kalibrere og kontrollere kvaliteten på modellene.

Ved graving av snøprofiler er det mange feil som kan begås. Værets påvirkning har mye å si. Dårlig vær fører til at arbeidet blir gjort fort og kanskje mer unøyaktig. Under graving av profilene var vind et problem fordi vekten var følsom samtidig som nøyaktigheten ikke var veldig god. Et annet problem ved dårlig vær var studier av snøkorn på rasterplate. Nysnø som la seg på platen gjorde det vanskelig å skille både størrelse og form. Snøtemperaturen i veggen som blir gravd ut, blir påvirket av lufttemperaturen når profilet blir gravd. Dette gjør at temperaturen bør måles med en gang og ikke etter at snøen har blitt påvirket av lufttemperaturen. Det samme gjelder måling av størrelse og kornform. Spesielt i solskinn er det viktig å tenke på at sola ikke skinner inn i profilveggen. Tetthetsmålinger er avhengig av

at volumet er riktig. Dette er ikke alltid like enkelt å få til, for eksempel i begersnø eller harde skarelag. Mange lag er også for tynne til at hvert enkelt kan måles. Erfaring er også noe som er viktig når været er dårlig og en ønsker å få gjort unna arbeidet fort. En må derfor forvente at det ikke er bare snødekket som har forandret seg men også erfaring. Dette gjelder spesielt ved å skille de ulike lag. Noen lag vet man ikke er så viktige, mens andre krever den største nøyaktighet og at alle detaljer blir tatt med.

5.2. Snøtemperatur

Logging av snøtemperatur ble gjort for å se om en kunne finne sammenheng mellom temperaturendring og snøskred. Denne delen av oppgaven gav flere problemer enn svar, likevel interessant med hensyn på instrumentering og tolkning av data. Siden det ikke gikk skred, kunne en ikke si noe om snøtemperaturen som løsnemekanisme. Loggeren sluttet også å virke etter ca en måned slik at måleserien ble ikke så lang.

Siden konduktiviteten i snø er lav vil temperaturen være relativt stabil så lenge fritt vann ikke refryser og avgir latent varme. Andre varmekilder om vinteren er geotermal varme, men dette vil svært sjelden ha betydning for skredhendelser siden det ikke er snakk om smelting ved bunnen, men en oppvarming mot 0 °C. Snøtemperatur vil derfor i hovedsak gi en utjevnet verdi av lufttemperaturen og en termistorstreng med minst en termistor over snøoverflata vi gi en relativt nøyaktig lufttemperatur også. Dette kunne en se når dataene ble sammenlignet med værdata fra NGIs met.stasjon. At termistorene ikke var beregnet for mange minusgrader spilte ikke så stor rolle siden disse temperaturene sjelden er av betydning i skredsituasjoner (kaldere enn -8 °C). Større problemer var det ved solskinn og regn. Lufttemperaturene ble høyere siden termistorene ikke var skjermet fra direkte sollys. Termistorene i snøpakka viste unormalt store svinginger ved en periode i slutten av januar, sannsynligvis på grunn av vann som perkolerte ned langs strengen. En rask oppvarming er ikke unormalt, men at temperaturen sank like fort igjen noen timer seinere indikerer kun lokal oppvarming. Ved to andre hendelser med plussgrader kom temperaturstigningen noen dager senere. Her var det sannsynligvis ikke regn, og dermed ser en resultatet av konduktivitet. En ser altså at temperaturendringer også kan observeres i snøpakka, men at bildet blir mye vanskeligere når det kommer regn inn i bildet. Spørsmålet er her om dette har betydning for stabiliteten i snødekket.

En vet at metamorfose er temperaturavhengig. På et tidlig stadium av metamorfosen når krystallene endres fra stjerner til mer avrundete former vil styrken avta fordi det blir færre bindinger mellom krystallene. Men nye bånd formes fort og styrken øker igjen. For snø som er vindtransportert, er allerede krystallene delvis rundet, avhengig av blant annet vindstyrke. Metamorfosen starter dermed med litt andre forutsetninger. En kan derfor ikke forvente at en temperaturendring dypt nedi snøpakka vil gi noen endring i skredfaren så lenge snøen er gammel. Termistordataene viste negative snøtemperaturer og ingen av snøprofilene indikerer isoterm snø før i april. En kan derfor ikke forvente at de typiske vårsnøskredene med isoterm snøpakke og utglidning mot våt berggrunn er aktuelt i løpet av de typiske vintermånedene (desember-mars). Disse skredene har heller aldri vært vurdert som problematiske i Sætreskardfjellet.

Hvis snøtemperaturdata skulle bli testet skikkelig er det en del faktorer som det må tas hensyn til. Ett problem er at en ikke vet hvor langt termistorene er under snøoverflata. I dette forsøket der det var 50 cm mellom hver, vil en altså kunne bestemme snødybden med ca 50 cm nøyaktighet siden termistoren i snøen vil ha mye mindre variasjon enn den i luft. Dette er likevel noe unøyaktig når en vet at bruddkanten kan være mindre enn 10 cm. En vet også at snøens varmeledningsevne avhenger av konduktivitet og diffusjon der forholdet mellom dem avhenger av snøtype og værforhold. I snø med lav tetthet (100 kg/m^3) kan konduktiviteten være på $1/25$ av det som er vanlig for is, mens det i snø med høy tetthet (over 500 kg/m^3) kan være ti ganger så stor, opp mot $1/2$ av is (McClung og Schaerer, 1993). Konduktiviteten avtar med avtagende temperatur i løs snø og diffusjon tar over som viktigste varmeleder. En problemstilling som da er aktuell er om en kunne beregne tettheten på snøen ut fra temperaturendringer i lufta og snøen og det en vet om konduktivitet. Skal dette være aktuelt i skredsammenheng er en også avhengig av at målingene blir foretatt i nærheten av løснеområdet. De temperaturmålinger som er gjort i snøprofilene og termistorstrengen på Fonnbu vil gi alt for store usikkerheter til å estimere snøtemperaturen i løśnieområdet. Selv om en kan estimere lufttemperaturen, vil fritt vann og islag i snøpakka ha så mye å si for utvikling av snøtemperatur at det er helt nødvendig med termistorstreng i det aktuelle løśnieområdet for pålitelige målinger.

Det har blitt gjort veldig få studier av akkurat dette temaet, men er så vidt belyst i blant annet Gray et al. (1995) og Wilson et al. (1999) der et økende skjærstress ble observert med økende temperatur. Forsøket ble gjort der hver situasjon ble tilført en tileggsbelastning i form av en

skiløper. Om en kan påvise større skredfare kun ved en oppvarming av snøpakka og hvor mye faren øker, er fortsatt usikkert. En temperaturendring er ofte kombinert med endring av vindretning og nedbør og det blir derfor vanskelig å gjøre isolerte studier av enkelte faktorer ute i felt.

5.3. Værdata

Siden snøskredene uteble under feltarbeid ble problemstillingen til hele oppgava noe annerledes enn først tenkt. Dette innebar mye større bruk av gamle værdata enn planlagt. Disse er ikke offisielle data fra meteorologisk institutt men NGI sine egne stasjoner, som innebærer at stasjonene ikke har vært i drift året rundt og at dataene er noe mangelfulle. Men selve instrumenteringen og nøyaktigheten er gode nok til dette formålet, selv om en skulle ønsket at den akustiske snøhøydemåleren har virket.

Normalt er værdata lagret hver time og dette har blitt brukt for beregning av alt fra snitttemperatur til 3-døgns nedbør. Problemet er at noen målinger og datoer faller ut for kortere eller lengre perioder slik at verdiene kan gjelde for fem dager tilbake eller i verste fall en måned. Dette fordi utregningen av hver enkelt faktor ser på de 24 eller 72 foregående observasjonene, uavhengig av dato. Dette gir sjelden store feil, men kan være et problem for nedbør som summeres og ikke bruker middelveier. Store feil er forhåpentligvis fjernet når dataene er studert etterpå. For makskast er dette litt mer usikkert fordi enkeltmålingene har veldig stor variasjon. Ekstremverdier er vurdert subjektivt, men er midlet når verdien i timen før og timen etter avviker veldig, eller at verdier er over ca 40 m/s. Det finnes også perioder da alle vindmålinger viser 0 m/s over en lengre periode. Dette er helt usannsynlig og samtidig vanskelig å gjøre gode gjetninger. Det registreres to lufttemperaturer på stasjonen, her ble temperatur 1 valgt. Det har i ettertid vist seg at denne måleren til tider har vist noe feil og at den andre burde vært valgt. Temperatur 1 viste jevnt over varmere enn temperatur 2. Et av hovedmålene med å studere værdataene var å finne forskjellene mellom Fonnbu på 930 moh. og Kvitenova på 1400 moh. På grunn av de mangelfulle dataene på Kvitenova var det vanskelig å sammenligne perioder med forskjellige værtyper. Siden Fonnbu ligger i en dal med nordvest-sørøstlig retning skulle en forvente at vindretningene varierte ulikt på de to stasjonene og dermed forskjellig fra løsneområdet i Sætreskardfjellet. Sammenligningen gjort i figur 4.5 og tabell 4-1 viser at forskjellene spesielt ved sørvest gir andre verdier på Fonnbu. En slik variasjon indikerer at vindretninga på Fonnbu sier lite om vindretningen høyere oppe i

fjellet. Men siden løsneområdet ligger lavere enn toppene rundt, kan en også her forvente at vindretningen til en viss grad er styrt av topografien. Tendensen at forskjellen i vindhastighet øker med økende vind indikerer også at Fonnbudataene ikke er godt egnet til å estimere hastigheten i løsneområdet siden stasjonen ligger relativt lunt til. Dette er spesielt viktig når en vet at det kreves over ca 5 m/s for at snøpartiklene skal flytte på seg og at snødriften øker med tredje potens av vindhastigheten (Lied et al., 2003). Dette vil ha konsekvenser for pålagring av ny snø og dermed mulighet for store feil når en bruker disse dataene. Dette er kanskje det største problemet når en ikke har observasjoner fra flere stasjoner. Det er også sannsynlig å tro at forskjellene i vindstyrke varierer med vindretningen, noe som gjør vindberegningene meget usikre. Slike usikkerheter gjør at det er stort forbedringspotensial når det kommer til innsamling av værdata, ikke bare for bruk i modellen som er utarbeidet her, men for å få bedre innsyn i hvordan værforholdene endrer seg med høyde og topografi.

5.4. Skreddata

Skred i Sætreskardfjellet løsner i store deler av fjellsida, men de virkelig store utløses ca 1350 moh. i et lehang som akkumulerer mye snø på sørlige vindretninger når vinden kommer oppover dalen. Denne vindretningen bygger også opp en skavl på den sørøstlige ryggen. Det kan også forventes skredaktivitet ved nordvestlig vind og nedbør, uten at det er noen skavl som bygger seg opp.

Skred som er registrert kommer både fra NGIs egne observasjoner og Vegvesenet. Mangel på automatisk varsling fører til at tidspunktet for skred sjelden blir nøyaktig. De skred som treffer veien blir naturlig nok varslet når første kjøretøy kommer. De som derimot ikke kommer så langt kan ha usikkerhet på flere timer og kanskje dager, siden dårlig sikt og pålagring av ny snø fjerner spor. Det samme gjelder for skred som går mens vegen er stengt. Regresjonen som ble gjort av skredhendelsene er avhengig av et nøyaktig angitt tidspunkt og gjetningen som i mange tilfeller er gjort vil derfor ødelegge litt for en del av målsettingen, nemlig å fange opp de uventede og spesielle hendelsene. Dette er likevel den beste gjetningen som kan gjøres med de kunnskaper og data en har i dag.

Et annet problem med utvelgelse av skredhendelser er at alle skred ikke er med, rett og slett fordi de ikke er registrert. På en annen side er dette skred som ikke har direkte påvirkning for skredfaren på veien. Likevel vil disse påvirke snødekket i fjellsida og endre forutsetningene

for nye skred. En vet at det ofte kan gå skred både i de øvre deler av Sætreskardfjellet og i området rundt kjeglene. Når mange av disse er registrert i den perioden stasjonen var vinterbemannet (fram til midten av 80-tallet), kommer en borti et nytt problem og det er å definere hvilke skred som har betydning for selve skredvarslingen for Strynefjellsveien. Det går et stort antall skred i området som sier mye om den generelle skredfaren uten at det nødvendigvis har så mye å si for skredfaren i Sætreskardfjellet. For den statistiske analysen var det derfor naturlig å velge skred på nittitallet der observasjonsrutinene var relativt like.

Sprengte skred er også et problem fordi en ikke vet om de ville gått naturlig. Dette medfører at hendelser som ville bedret modellen og kanskje gitt en bedre varslig ikke blir tatt med fordi det skjedde en sprenging rett i forkant. Likevel er sprenging et tiltak for å hindre unødvendige ulykker og færrest mulig timer med stengt vei. En vil derfor aldri kunne få forholdene optimalt tilrettelagt så lenge området omfatter veier eller bebyggelse.

En tror også at flere skred i Sætreskardfjellet har blitt utløst av skavl nedfall. Dette er en form for løsnemekanisme som er umulig å varsle og oftest helt uavhengig av været så lenge en ikke har unormalt høye temperaturer. Et slik uforklarlig skred kom i 2002 da det ble sprengt uten at det gikk skred, etterfulgt av en uke med klarvær før et enormt skred gikk med skredmasser 50 m inn i tunnelen på motsatt side av dalen. Eneste forklaring er at skredet ble utløst av en skalv som løsnet.

Alle disse faktorene skaper noen viktige begrensninger:

- Det er ekstremt vanskelig å observere alle skred, spesielt tidspunkt.
- Vanskelig å avgjøre betydningen av skredet, ikke bare størrelse men også hvordan snødekket har blitt påvirket med tanke på senere skred.
- Å avgjøre hvorfor/hvordan skredet ble utløst.

For selve analysen er det antatt at alle skred er vanlige flaskred. De løssnøskredene som forekommer, vil ikke ha noen praktisk betydning for verken skredvarsling eller skredfaren. Det samme gjelder i stor grad for våte vårsnøskred. Hvis en for eksempel får skavlnedfall på grunn av varmt vær, vil sannsynligvis også snøpakka nedenfor være såpass omdannet at vanlige flaskred ikke vil forekomme. Svaberg som en finner mange steder i området er ikke et problem og en utglidning mot underlaget om våren er derfor ikke spesielt sannsynlig.

Ut fra de problemene som har blitt beskrevet er det flere tiltak som har vært ønskelig å gjennomføre for å øke nøyaktigheten for observasjoner av skred. Dette er for eksempel trykksensor for skredregistrering som gir nøyaktig tidspunkt samtidig som en får et inntrykk av størrelsen ut fra trykket som blir målt. Et bilde av løseområdet kunne også gi informasjon om løsnemekanismer ved at bruddkant eller skavl kunne observeres. Med det utstyret som allerede finnes på Kvitenova er dette en god plassering av et slik ”overvåkningskamera”. Dette punktet har selvfølgelig store begrensninger med hensyn på vær og lysforhold. Men for noen av skredene ville en få god informasjon om hva som har skjedd i løseområdet. Ved å kombinere trykksensor, kamera og de værdato som allerede blir registrert på Fonnbu/Kvitenova og en mer online oppdatering til NGI/Vegvesenet, vil en i alle fall gjøre skreddatabasen mer nøyaktig og ha større utbytte av den ved senere analyser.

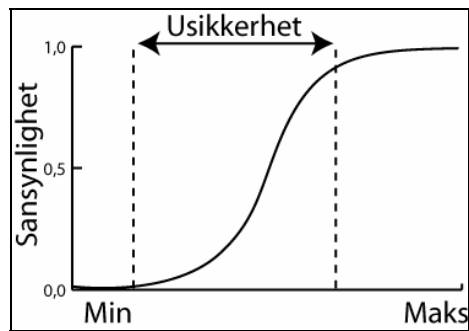
5.5. *Logistisk regresjon*

For å lage en modell med de dataene som var til rådighet ble det besluttet å benytte seg av logistisk regresjon. Siden det pr dags dato er funnet veldig lite litteratur om at dette er brukt i snøskredsammenheng, må en anta at dette kan gjøres på mange måter og en kan heller ikke utelukke at metoden ikke egner seg for snøskredvarsling. De viktigste faktorene som skiller denne metoden fra andre modeller, er ønsket om å varsle for en bestemt skredbane og tidspunktet der skredfaren er størst, ikke bare at denne dagen er skredfarlig. Disse momentene skapte problemer som nevnt tidligere, og allerede tidlig i prosessen viste det seg at datagrunnlaget var noe lite og til dels unøyaktig. Likevel ble dataene som var til rådighet brukt for å se hvilket resultat en fikk.

I denne type regresjon der en har to utfall ble det første problemet å velge ut de utfallene som ikke gav skred. Fra et statistisk synspunkt bør slike kontrollperioder være tilfeldig utvalgt, selvfølgelig innenfor vintersesongens begrensninger. En annen mulighet var å velge ut kontrollhendelsene på grunnlag av døgnnedbør (mer enn 20 mm). Et argument for å bruke kontrollperioder som i utgangspunktet gir skredfare men ikke skred, er å redusere t-verdien til nedbørsfaktorene. Hvis nedbørsforholdene er relativt like for to hendelser med forskjellig utfall kunne en kanskje forvente at andre faktorer fikk større betydning som forklaringsvariabel. Nedbør er det uansett bred enighet om viktigheten av. Problemet med en subjektiv utvelgelse av kontrollperiodene blir da hovedsakelig tidsbestemmelse innenfor perioden der en kunne forvente skred. Disse usikkerhetene samt statistisk veiledning medførte

at det ble valgt å gjøre utvalget tilfeldig. Hovedproblemet viste seg da å bli hvilke faktorer en skulle analysere. I utgangspunktet er det kun fantasien som setter grenser, men det er veldig lett å velge ut faktorer en selv tror er viktige, og da går en litt i fella der de spesielle hendelsene faller utenfor. Hele analysen begrenset seg også litt siden det kun var værdata fra Fonnbu som ble brukt. Både informasjon om snødekket og ikke minst værdata fra Kvitenova hadde vært interessant for studien. Selv om det finnes en del data om snødekket, kreves det at en har det for hver enkelt hendelse, noe som er urealistisk å få til så lenge stasjonen ikke er bemannet. Værdata fra Kvitenova kan bli tilgjengelige men krever mye mer bearbeiding og var alt for mangelfulle for bruk når analysen ble gjort. Dette medfører at to helt like vær situasjoner der den ene gir skred og den andre ikke, må aksepteres så lenge informasjon om snødekke og data fra Kvitenova ikke er tilgjengelige. Alle disse faktorene gjør at en ikke forventer så mye av resultatet, men at det likevel gir en god pekepinn på om metoden kan brukes.

Problemene rundt avhengighet gjelder ikke bare for værfaktorer, men også avhengighet mellom hvert skred. Når det har gått ett skred går det normalt en stund før nok snø har bygd seg opp før et nytt skred kan gå. Men så har en også skred som inntreffer med kun få timers mellomrom. Kontrollhendelsene ble derfor vurdert mot naturlige og sprengte skred slik at det var minst en dag før og sju dager etter. Om det er riktig å fjerne hendelsene som er rett i etterkant av skred kan selvsagt diskuteres, men finnes det en kontrollperiode for eksempel to dager etter et registrert skred, vet en at alle tredøgnsverdiene også har gitt skred og det kan da bli feil å gi hendelsen verdien "ikke skred". Siden forskjellen er kun en dag før skred/sprengt vil en her kunne si at verdier for kontrollperioden også gir skred, men her vet en ikke at skredet vil gå og ofte vil ikke skredfaren ha blitt betegnet som stor så lenge før. Dette er likevel et punkt som kunne vært gjort annerledes uten at det sannsynligvis ville gi noen endringer for nøyaktigheten av modellen. Det var også få kontrollhendelser som tilfeldigvis havnet i dette usikre intervallet. Hvor lang periode det skal være mellom hver hendelse avhenger også av hvilke faktorer en vil studere. Ukenedbør eller endring i snødekket over tid vil komplisere dette med avhengighet enda mer. Vintersesongen er av begrenset varighet. Antar man at det går noen skred og det skal legges inn ca 10 kontrollperioder, er det begrenset hvor mange dager/uker en kan få mellom hver hendelse.



Figur 5.1. Sannsynlighet for de ulike faktorer.

altså et tall på hvor sikre estimatene er. En ønsker normalt å godta en hypotese ved fem % signifikanssannsynlighet, dvs. at det er mindre enn fem % sjanse for å ta feil (tilsvarer ca 2 i t-verdi). Men siden dette gav få faktorer i modellen, ble det kjørt flere modeller der en ikke var så kritisk til signifikanssannsynlighet.

Noe av problematikken med dette er at den logistiske regresjonsmodellen går ut fra en fordeling av verdiene for hver faktor som vist i figur 5.1. Dvs. at laveste verdier gir minst sannsynlighet for skred, mens høyeste verdi gir størst. En ønsker da at det er færrest mulig verdier som blir liggende innenfor denne usikkerheten, altså at kurven er så bratt som mulig. Dette vet man er sterkt varierende fra faktor til faktor. For vind vil de aller fleste verdier ligge innenfor usikkerheten, mens 3-timers nedbør vil ha de fleste verdier på 0. Noen faktorer kan også ha høyest sannsynlighet ved lave verdier eller høyest sannsynlighet på middelverdien. Dette kan gjelde for vindretning som kan gi størst skredfare ved sørlig vind (180 grader). Enda vanskeligere blir det hvis det viser seg å være en totoppet sannsynlighetsfordeling, dvs. at skred forekommer både ved for eksempel 180 og 320 grader. Det viser seg derfor at alle faktorer som en er usikker på om er s-formet som i figur 5.1, ikke egner seg for logistisk regresjon før disse faktorene blir grundigere analysert på forhånd. Det kan gjøres ved å klassifisere for eksempel vindretningen og gjennom en statistisk analyse av kjente skredhendelser gi klassene verdier etter hvor hyppig de forekommer i skredene. Dette er altså et problem som bør undersøkes bedre ved en mer detaljert studie. For vind vil dette være et spesielt problem der topografi styrer vindretning og kanskje gir like observasjoner på Fonnbu selv med ulik retning i løseområdet.

Bruk av logistisk regresjon krever altså ikke at dataene er normalfordelt, men er derimot følsom for ekstremverdier. Det vil si at kontrollhendelser som for eksempel har maks kast på 40 m/s uten at det gir skred vil gi faktoren mye dårligere signifikans. Hvis en vet at verdiene

er riktige, er det en vurderingssak om slike uteliggere skal fjernes eller om en skal se det som naturlig variasjon i datasettet. Alle problem som angår selve statistikken kan bearbeides og analyseres i mye større grad enn det som er gjort i denne oppgaven. Men dette er arbeidskrevende og krever mer statistisk kunnskap.

5.6. Skredvarslet

Problemstillingen med hele oppgaven var å finne metoder for å gjøre skredvarslingen ved RV 15 bedre. Siden det ble lite med egne skreddata, var det likevel mulig med alle værdata som var samlet inn gjennom tiden Fonnbu har vært i drift. Ønsket om at faktorer innenfor både vind, nedbør, temperatur og vindretning skulle kunne brukes ble ikke oppfylt fordi usikkerheten var for stor hos de fleste faktorer. Studiet av de ulike modellene for 1988/89 viser like trender gjennom vinteren, mens modell 3 med kun to faktorer opptrer mer som en utjevnet linje av de to andre. Hele serien består av over 2500 målinger og selv om modell 3 ser mest troverdig ut må en også vurdere de faktorene som ikke denne modellen omfatter. Sammenligningen med skred som har gått denne vinteren viser at ingen skred har gått når skredfaren har vært liten. Men siden ingen av disse skredene var uventede får en ikke teste om modellen fanger opp dette. Selv om det ser ut til at modell 1 klarer å varsle skredet i februar 1989 bedre (skred 3), viser denne modellen både 10 og 20 slike raske endringer i løpet av vinteren. De fleste av disse tilfellene viser derfor ikke faktisk skredfare, men små værendringer uten betydning for skredfaren.

Det som uansett ikke stemmer er selve fareskalaen. 5 som tilsvarer meget stor skredfare forekommer sjelden, og det er ikke så mange ganger i løpet av denne vinteren heller. Problemet er at så snart modellene varsler over 5 (50 %) så stiger de til nesten 100 %. Varslet vil få samme betegnelse om sannsynligheten er 50 % eller 90 %, men værforholdene som gir disse verdiene er ikke så forskjellige som det blir predikert i modellene.

Det neste problemet med et skredvarsel er at en ønsker å varsle frem i tid. Dette har ikke vært forsøkt, men med detaljvarsel fra meteorologisk institutt vil dette kunne brukes i modellen. Usikkerheten med varslene (meteogrammene) må det tas høyde for, siden de ofte har vist seg å være store. De baserer seg på utjevnete verdier av både terreng og værvarslet. Avhengig av tidsrommet en ønsker å varsle for benytter meteogrammene seg av ulike atmosfæremodeller som derfor gjør at en må ha kjennskap til lokale effekter og tolke de deretter. Meteorologisk

institutt leverer meteogram for Grasdalen, men en må huske forskjellene mellom Fonnbu og løsneområdet som er beskrevet tidligere.

Skal denne modellen sammenlignes med andre typer modeller som Föhn (1998) beskriver, er dette en ren statistisk modell. Med det datagrunnlaget som er å oppdrive i Norge er det også lite annet som kan gjøres, bortsett fra en ren subjektiv vurdering av skredfaren. Nærmeste nabo modellen som også baserer seg på vær og skredstatistikk blir likevel en noe annen måte å tilnærme seg problemet på. Her er kun skreddager brukt og en slipper dermed usikkerheten med å velge kontrollhendelser uten skred siden alle vinterdager legges inn i databasen. Siden den baserer seg på skreddag eller ikke, kan det være vanskelig å fange opp endringer som skjer på kort tid. En har samtidig en vektingskonstant for hver faktor som bestemmes ut fra en subjektiv vurdering. Ut fra de resultatene som en finner i den logistiske modellen, kan det tyde på at faktorer som en trodde var av stor betydning, ikke er så viktige likevel.

Sammenligningen som er gjort med modellen for 3-døgnsnedbør utarbeidet av Bakkehøi (1986) viser god korrelasjon. Siden dette er en kumulativ fordelingskurve predikerte den verdier både under null og over en. Disse verdiene ble tilordnet null eller en og ingen normalisering ble gjort for å få dataene til å passe inn i intervallet. Siden den 3-ordens polynomfunksjonen som ble brukt er beregnet ut fra en graf, må det også antas at det er feil i selve formelen. Men siden dette var ment for sammenligning, vil det være godt nok. At forskjellene mellom modellene er små, er ikke overraskende siden 3-døgnsnedbør er en faktor i begge. Mye nedbør er ofte kombinert med vind og derfor blir modellene godt korrelerte. For vinteren 1988/89 gikk skredene da begge modellene varslet meget stor skredfare og det er derfor vanskelig å si noe om kvaliteten uten å teste for flere år. Det er likevel en indikasjon på at modellene som er utarbeidet i denne oppgaven gir et bra varsel i de fleste situasjoner.

Siden Fonnbu ikke er bemannet kan ikke snødekkets utvikling studeres kontinuerlig ved hjelp av felldata. En mulighet som metrologisk institutt nå har tatt i bruk, er å modellere snøpakka ut fra værdata og en terrengmodell. En får da total snømengde, vanninnhold, nysnømengede osv. Siden dette gjelder for hele Norge og har 1 km grid, er unøyaktigheten stor for snøskredvarsling, men ved å bruke de lokale met.stasjonene, eventuelt sette opp flere har NGI en mulighet til å modellere snøens utvikling gjennom vinteren og dermed få en deterministisk modell, omtrent som de modellene som blir brukt mange steder i Europa, for eksempel SAFRAN-CROCUS-MEPRA kjeden eller SNOWPACK. Selv om også disse modellene har

problemer med å varsle alle skred vil det være et rett steg i riktig retning mot det optimale skredvarslet en gang i fremtiden. Problemene i norsk skredvarsling er likevel noe annerledes enn i Alpene. Mens Norge har svært skiftene vær over små områder er typisk skredvær i Alpene mer regionalt og med mindre lokale variasjoner. Dette gjør at innsamlede værdata kan brukes til skredvarsling over et mye større område enn det som er tilfelle i Norge

Mye av problemet med skred og værvarsling i fjellet er mangel på observasjoner. Dagens varsler baserer seg i stor grad på meteorologiske stasjoner ved havnivå og i bebygde områder. Selv om det står mange meteorologiske stasjoner i fjellet i Norge, er ikke disse tilknyttet noen felles database. De er oftest satt opp i forbindelse forskningsprosjekter som går over noen få år og tidsseriene blir derfor korte. Sammenlignet med nettverket av observasjoner og snømålinger som blir gjort for eksempel i Sveits er det langt igjen, både med tanke på værobservasjoner og ikke minst skredvarsel og skredobservasjoner. Selv om det er få bebygde områder som er direkte truet av skred i Norge, er det et problem som spesielt påvirker veitrafikk og annen kommunikasjon, og i større og større grad friluftaktiviteter.

6. Konklusjon

Selv med stor forskningsaktivitet innenfor ulike deler av snøskredproblematikken er det mange ubesvarte spørsmål og mange problemstillinger som enda ikke er diskutert. I denne oppgaven er det en blanding av disse som er blitt belyst. Ønsket om å se på et enkelt skred på et gitt tidspunkt har skapt en del uventede utfordringer.

Snøprofiler er gravd på 4 forskjellige tidspunkt gjennom vinteren 2002/03 og kun et begrenset antall hver gang. Disse indikerer stabile forhold både ved Fonnbu og oppe i fjellsidene, men det kan likevel ikke konkluderes med at fjellsiden har vært stabil gjennom hele vinteren. Forskjellene mellom profilene viser at det er vanskelig å bruke disse til varslig over et stort område over lang tid, men for indikasjon på skredfaren på den aktuelle lokaliteten vil snøprofiler alltid være viktige.

Logging av temperatur i snøpakka viser veldig stabile temperaturer, det samme gjør målingene fra snøprofilene. Det blir store utslag på snøtemperaturen i høyder der noe nedbør kommer som regn. Logging av snøtemperatur bør derfor skje på høyde med løsneområdet. Hvor stor praktisk betydning snøtemperatur har for snøskredfare er fortsatt usikkert fordi temperaturstigning som regel alltid er kombinert med nedbør eller vind.

Innsamling og bearbeiding av vær og skreddata har delvis blitt gjort med subjektive vurderinger og antagelser. Når det skal studeres værfaktorer som er av 1-3 timers varighet, vil det bli store usikkerheter når skredtidspunkt ikke er kjent. Mangelfulle værdata og observasjonsrutiner er også begrensinger en må være klar over.

Bruk av logistisk regresjon har bydd på mange utfordringer. Siden dette har vært brukt minimalt på snøskred tidligere ble det mye prøving og feiling. Begrensingene som oppstod med enkelte faktorer er problemer som kan løses med en grundigere statistisk analyse og dermed kan forhåpentligvis flere faktorer kunne brukes i modellen. Først når en får flere faktorer med en god nok signifikanssannsynlighet vil det være mulig å gjøre en skikkelig vurdering av den logistiske regresjonsmodellen.

Selve skredvarselet som ble utarbeidet klarer å varsle alle skred for testsesongen 1988/89 selv om ikke skredene går når sannsynligheten er størst. Problemet er at periodene der det varsles meget stor skredfare er mange dager. Dette innebærer at en ikke kan gi et nøyaktig tidspunkt for når skredfaren er størst. Korrelasjonen (r^2) med den enklere modellen utarbeidet av Bakkehøi er på 0,82. Så lenge min modell viser at 3-døgnsnedbør er så viktig er ikke dette uventet, men en god bekreftelse på at modellen gir fornuftige verdier. Det litt mer overraskende er at 3 og 6 timers verdiene ikke får en bedre signifikans, men dette kan altså ha sammenheng med usikkerheten med å tidsbestemme skredhendelsene.

Derfor er det fortsatt de godt etablerte værfaktorene som vil ligge til grunn når skredvarsel blir utarbeidet. Med den kunnskapen og datamaterialet en har i dag, vil det i lang tid fremover være vurderinger gjort av kyndige personer som en kan stole mest på. Samtidig er naturkatastrofer som snøskred fortsatt ikke fullt ut forstått. Overraskende og ødeleggende skred vil fortsatt eksistere selv om modeller og varslingsmetoder stadig blir bedre.

7. Referanser

Aguado, E. og Burt, J. E. 1999. *Understanding Weather and Climate*. 474 pp.

Anda, E. og Blikra, L. H., 1998: Rock-avalanche hazard in Møre & Romsdal, western Norway. *25 years of snow avalanche research*, Voss, Norway, NGI.

Bakkehøi, S. 1986. Snow avalanche prediction using a probabilistic method. *IAHS Publication*. **162**.

Bartelt, P. og Lehning, M. 2002. A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning Part I: numerical model. *Cold Regions Science and Technology*. **35**. 123-145.

Brun, E., David, P., Sudul, M., og Brunot, G. 1992. A Numerical-Model to Simulate Snow-Cover Stratigraphy for Operational Avalanche Forecasting. *Journal of Glaciology*. **38**. 13-22.

Brun, E., Martin, E., Simon, V., Gendre, C., og Coleou, C. 1989. An Energy and Mass Model of Snow Cover Suitable for Operational Avalanche Forecasting. *Journal of Glaciology*. **35**. 333-342.

Buser, O. 1983. Avalanche Forecast with the Method of Nearest Neighbors - an Interactive Approach. *Cold Regions Science and Technology*. **8**. 155-163.

Campell Scientific Lld. 2000. *CR10X Measurement and Control Module, Instruction Manual*. Campell Scientific Lld.

Colbeck, S., Akitaya, E., Armstrong, R., Gubler, H., Lafeuille, J., Lied, K., McClung, D., og Morris, E. 1990. The International Classification for seasonal Snow on the Ground. *International Commission of Snow and Ice*.

- Davis, R. E., Elder, K., Howlett, D., og Bouzaglou, E. 1999. Relating storm and weather factors to dry slab avalanche activity at Alta, Utah, and Mammoth Mountain, California, using classification and regression trees. *Cold Regions Science and Technology*. **30**. 79-89.
- Fenwal Electronics Incorporated. 1994. *Standard Product catalog*. 79.
- Föhn, P. 1998. An Overview of Avalanche Forecasting Models and Methods. *25 Years of Snow avalanche Research at NGI, Voss, Norway. Norwegian Geotechnical Institute (NGI)*. 19-27.
- Föhn, P., Good, W., Bois, P., og Obled, C. 1977. Evaluation and comparison of statistical and conventional methods of forecasting avalanche hazard. *Journal of Glaciology*. **19**. 375-387.
- Gray, J., Morland, L. W., og Colbeck, S. C. 1995. The Effect of Change in Thermal-Properties on the Propagation of a Periodic Thermal-Wave - Application to a Snow-Buried Rocky Outcrop. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*. **100**. 15267-15279.
- Haefeli, R., 1963: Stress transformations, Tensile strengths and Rupture Processes of the snow cover. *Ice and snow; properties, processes, and applications*, Massachusetts, 684.
- Haefeli, R., 1967: Some mechanical aspects on the formation of avalanches. *Physics of snow and ice*, The Institute of low temperature science. Hokkaido Univ., Sapporo Japan, 1199-1214.
- Hosmer, D. W. og Lemeshow, S. 2000. *Applied Logistic Regression*. 2 ed. Wiley Series in Probability and Statistics.
- Kristensen, K., 1998: A Survey of Snow Avalanche Accidents in Norway. *25 Years of Snow Avalanche Research*, Voss, Norway, Norwegian Geotechnical Institute.

- Kristensen, K. 2000. *Kurs i observasjonsrutiner for snøskredvarsling*. Norges Geotekniske institutt/Stryn Skulekontor.
- Landrø, M. 2002. *Skredfare: snøskred, risiko og redning*. Featureforlaget. 160 s. pp.
- Larsson, C. 1990. Utvärdering av datorprogrammet Nærna för skredvarsling.
- Lied, K., 1998: Snow avalanche experience through 25 years at NGI. *25 years of Snow Avalanche Research*, Voss, Norway, NGI.
- Lied, K. og Bakkehøi, S. 1980. Empirical Calculations of Snow-Avalanche Run-out Distance Based on Topographic Parameters. *Journal of Glaciology*. **26**. 165-177.
- Lied, K., Kristensen, K., og Norges geotekniske institutt. 2003. *Snøskred : håndbok om snøskred*. Vett & viten : I samarbeid med NGI Norges geotekniske institutt. 200 s. pp.
- Løvås, G. G. 2000. *Statistikk - for universiteter og høyskoler*. Universitetsforlaget.
- McClung, D. og Schaerer, P. 1993. *The avalanche handbook*. The Mountaineers. 271 s. pp.
- Moore, D. S. og McCabe, G. P. 1999. *Introduction to the practice of statistics*. 3rd. ed. Freeman. XXVIII, 825 s. pp.
- Norem, H., 1992: A general discussion on avalanche dynamics.
- Romig, J. M., Custer, S. G., Birkeland, K., og Locke, W. W., 2004: March wet avalanche prediction at Bridger Bowl ski area, Montana. *International Snow Science Workshop*, Jackson Hole, Wyoming.
- Schweizer, J. 1999. Review of dry snow slab avalanche release. *Cold Regions Science and Technology*. **30**. 43-57.
- Schweizer, J. og Kronholm, K., 2004: Multi-scale spatial variability of a layer of buried surface hoar. *International Snow Science Workshop*, Jackson Hole, Wyoming.

Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research (SFISAR). 2000. Der Lawinenwinter 1999. *Ereignisanalyse*, Eidg. Institut fuer Schnee und Lawinenforschung, Davos (2000).

Wilson, A., Schweizer, J., Johnston, C. D., og Jamieson, J. B. 1999. Effects of surface warming of a dry snowpack. *Cold Regions Science and Technology*. **30**. 59-65.

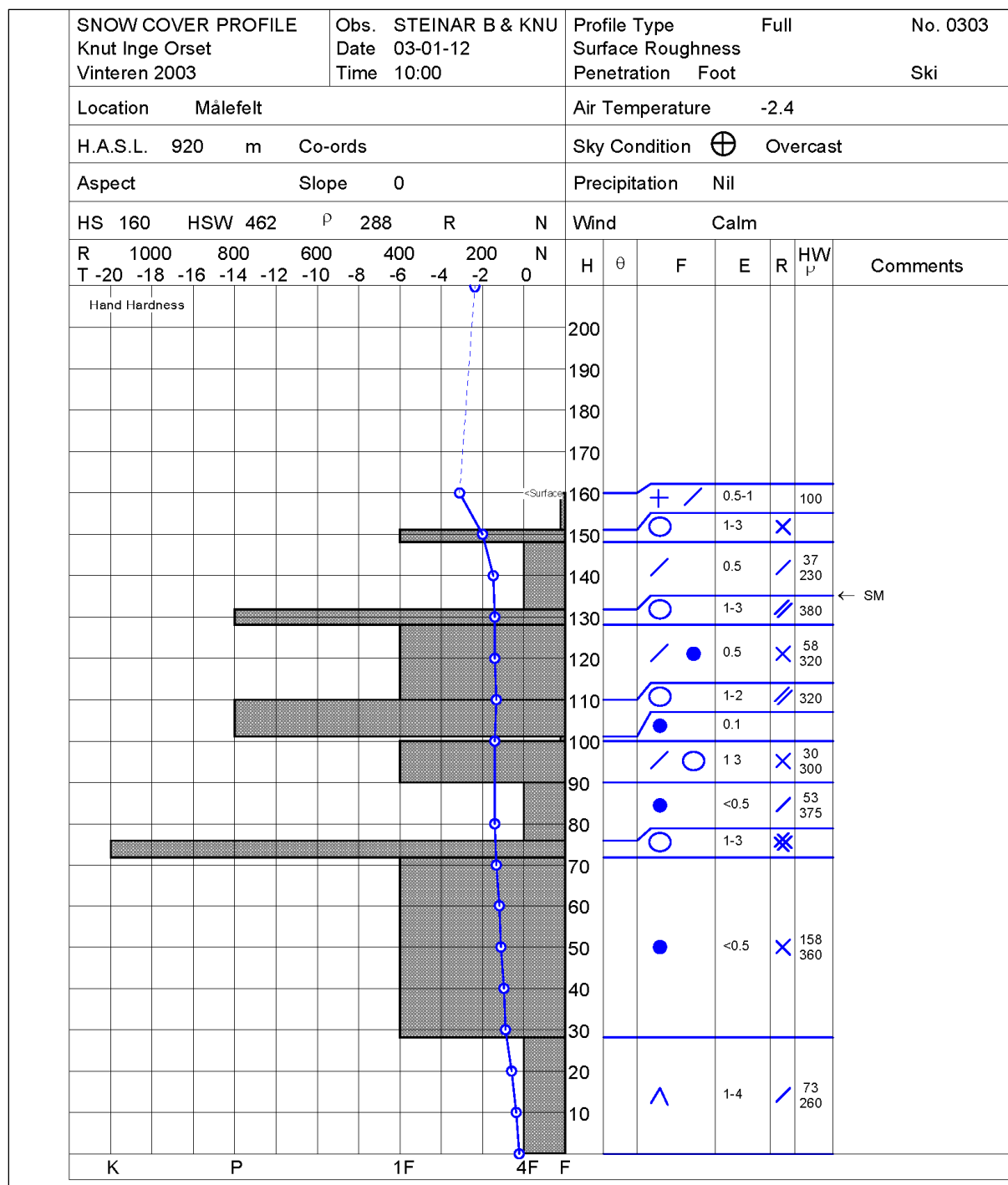
Appendiks

Profil 1	II
Profil 2	III
Profil 3	IV
Profil 3 med rammsonde	V
Profil 4	VI
Profil 5	VII
Profil 6	VIII
Profil 7	IX
Profil 8	X
Profil 9	XI
Program for Campell CR 10X	XII

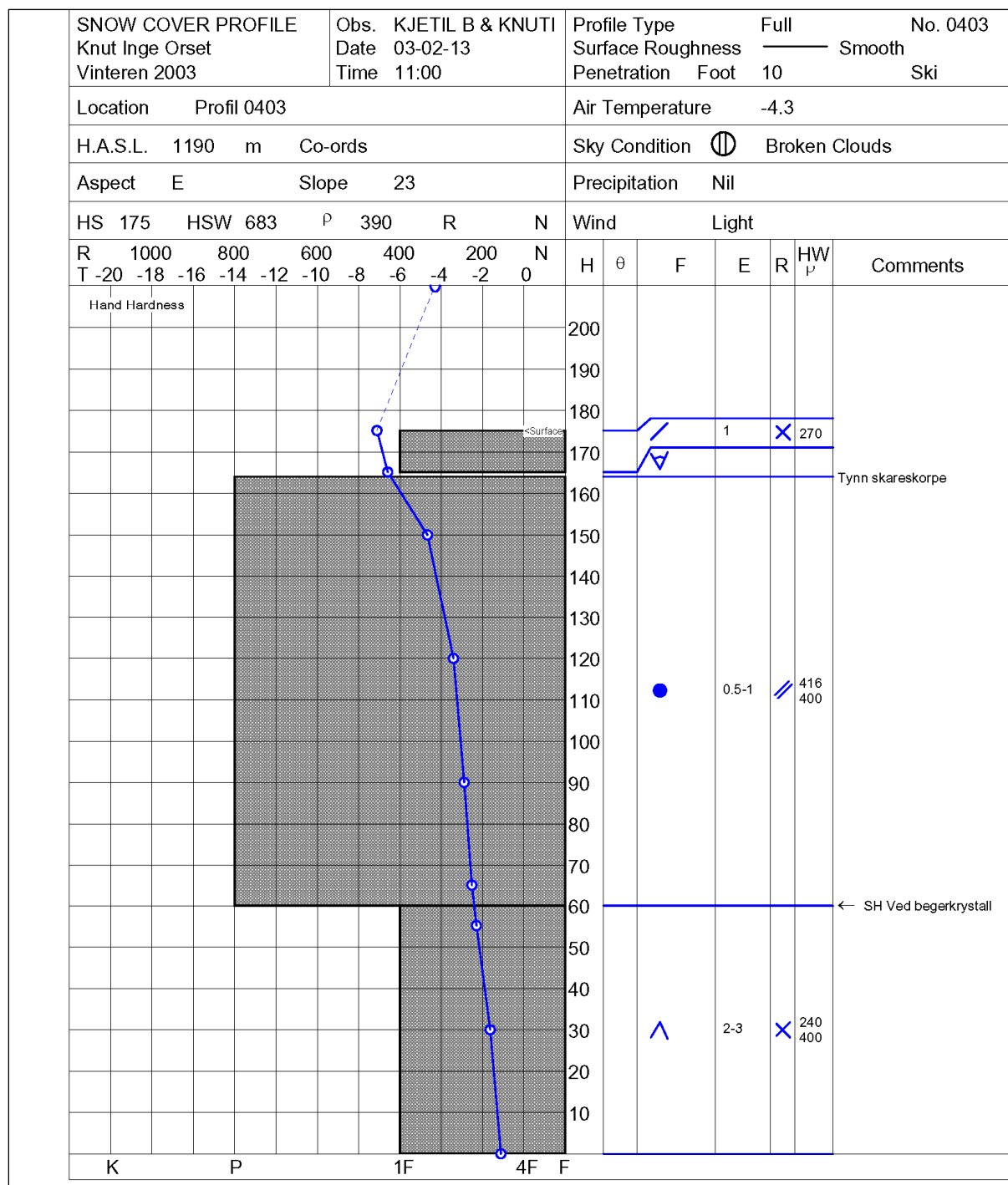
Profil 1

SNOW COVER PROFILE		Obs. ODDRUN & KNUT		Profile Type		Full		No. 0301	
Knut Inge Orset		Date 00-01-18		Surface Roughness		Smooth			
Vinteren 2003		Time 13:00		Penetration		Foot		Ski	
Location Målefelt				Air Temperature -3					
H.A.S.L. 920 m Co-ords				Sky Condition ☉ Overcast					
Aspect N/A Slope 0				Precipitation Snow - Moderate					
HS 175 HSW 402 P 230 R N				Wind Moderate - North West					
R 1000 800 600 400 200 N				H θ F E R HW _P				Comments	
T -20 -18 -16 -14 -12 -10 -8 -6 -4 -2 0									
Hand Hardness									
				200					
				190					
				180					
				170					
				160					
				150					
				140					
				130					
				120					
				110					
				100					
				90					
				80					
				70					
				60					
				50					
				40					
				30					
				20					
				10					
K P 1F 4F F									
Stability Assessment: Good									

Profil 3



Profil 4



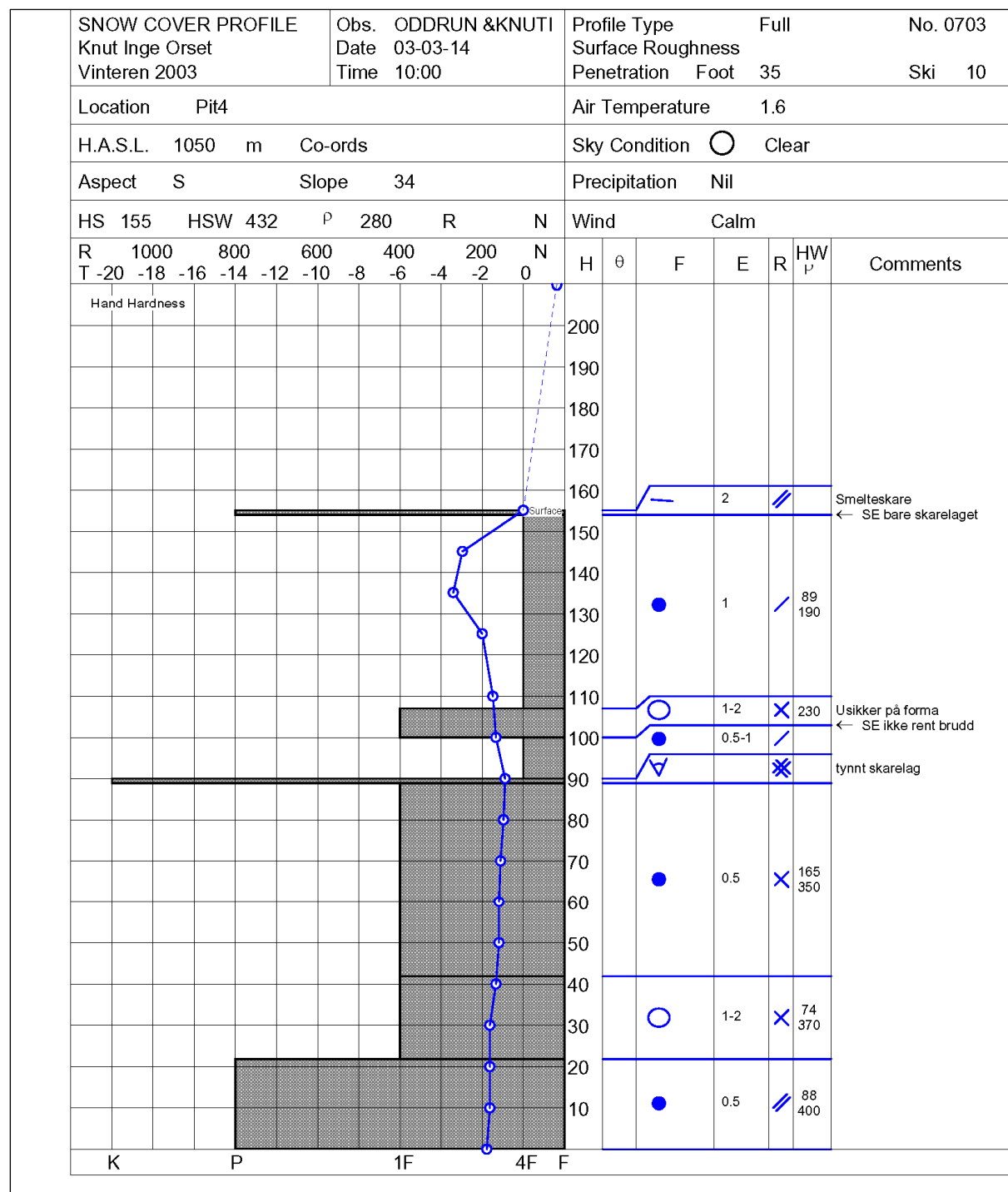
Profil 5

SNOW COVER PROFILE				Obs. ODDRUN & KNUTI				Profile Type				Full				No. 0305							
Knut Inge Orset				Date 03-03-13				Surface Roughness				Smooth											
Vinteren 2003				Time 11:00				Penetration				Foot 18				Ski 15							
Location								Målefelt								Air Temperature -1.6							
H.A.S.L. 920 m								Co-ords								Sky Condition ○ Clear							
Aspect								Slope 0								Precipitation Nil							
HS 159 HSW 483								P 304 R N								Wind Calm							
R 1000 800 600 400 200 N								H θ F E R HW								Comments							
T -20 -18 -16 -14 -12 -10 -8 -6 -4 -2 0																							
Hand Hardness																							

Profil 6

SNOW COVER PROFILE										Obs. ODDRUN & KNUTI										Profile Type										Full										No. 0603																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Knut Inge Orset										Date 03-03-13										Surface Roughness										Smooth																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Vinteren 2003										Time 15:30										Penetration Foot										46										Ski 5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Location Pit3																				Air Temperature										-1.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
H.A.S.L. 1160 m Co-ords																				Sky Condition										Clear																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Aspect NE Slope 28																				Precipitation										Nil																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
HS 150 HSW 412 P 274 R N																				Wind										Light - North																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
R 1000 800 600 400 200 N																				D										θ										F										E										R										HW										Comments																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
T -20 -18 -16 -14 -12 -10 -8 -6 -4 -2 0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												</									

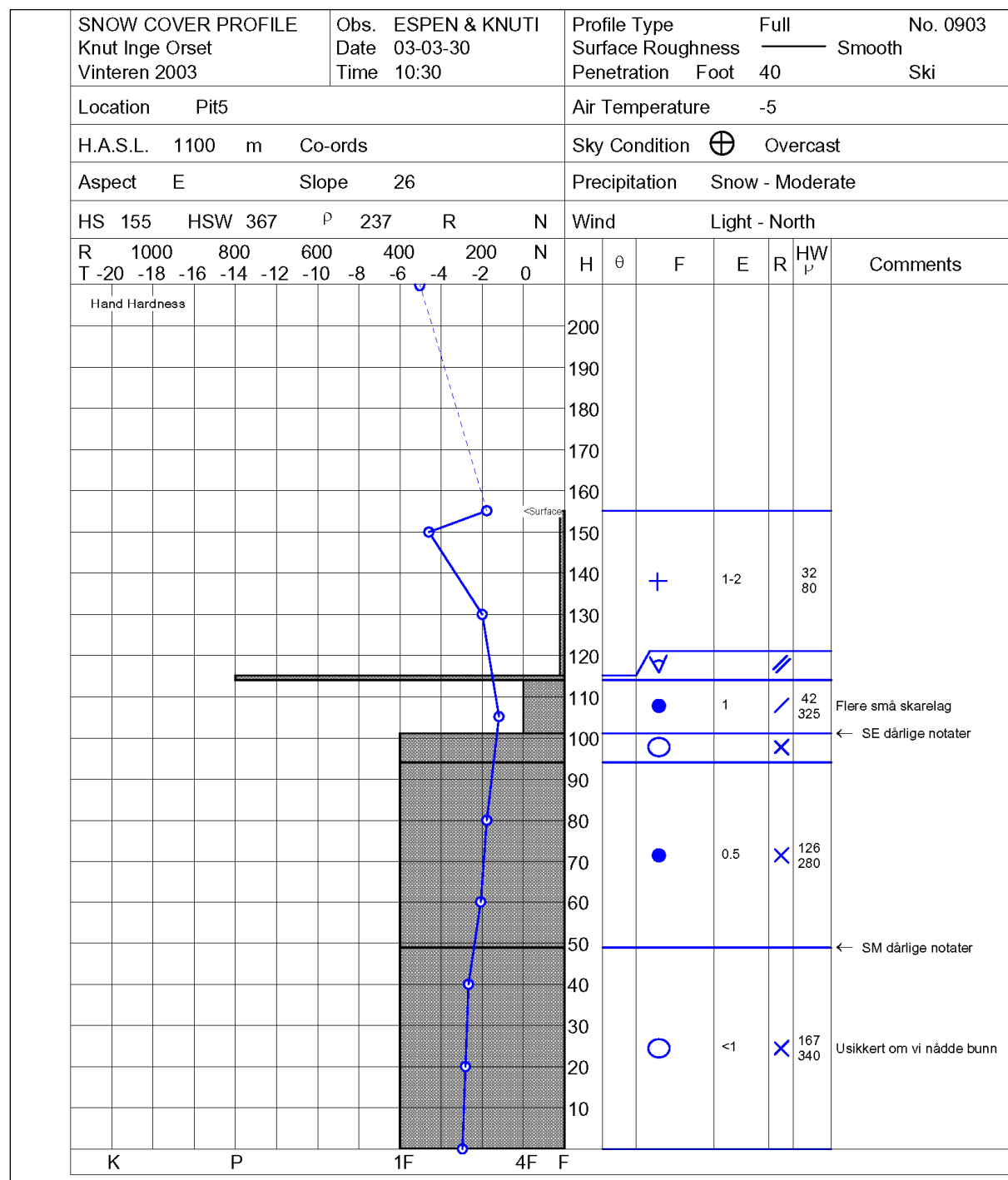
Profil 7



Profil 8

SNOW COVER PROFILE										Obs. ESPEN & KNUTI		Profile Type		Full		No. 0803		
Knut Inge Orset										Date 03-03-29		Surface Roughness		Smooth				
Vinteren 2003										Time 17:00		Penetration Foot		20		Ski 10		
Location Målefelt												Air Temperature		1.2				
H.A.S.L. 920 m Co-ords												Sky Condition ☉		Overcast				
Aspect N/A Slope 0												Precipitation		Snow - Very Light				
HS 155 HSW 487 ρ 315 R N										Wind		Light - North						
R	1000	800	600	400	200	N				H	θ	F	E	R	HW _P	Comments		
T	-20	-18	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0							
Hand Hardness																		

Profil 9



Program for Campell CR 10X

;{CR10}

;Måler signal og beregner resistans (kohm) på 12 termistorer type Fenwall 192-103LET-A01
hvert minutt

;Lagrer middelvei av resultatene (kohm) hver time

*Table 1 Program ; Måleintervall: 60 sekunder
01: 10 Execution Interval (seconds)

1: Excite-Delay (SE) (P4) ; Måler signal fra 12 termistorer

1: 12 Reps
2: 4 250 mV Slow Range
3: 1 SE Channel
4: 1 Excite all reps w/Exchan 1
5: 10 Delay (units 0.01 sec)
6: 2000 mV Excitation
7: 1 Loc [Res_kohm]
8: .0005 Mult
9: 0 Offset

2: BR Transform $R_f[X/(1-X)]$ (P59) ; Regner om til resistans i kilohm

1: 12 Reps
2: 1 Loc [Res_kohm]
3: 330 Multiplier (Rf) ; Referansemotstand = 330 kilohm

3: If time is (P92) ; Klargjør for sluttlagring hver hele time (flag 0 høyt)

1: 0 Minutes (Seconds --) into a
2: 60 Interval (same units as above)
3: 10 Set Output Flag High (Flag 0)

4: Set Active Storage Area (P80) ; Parameter 1: Array ID (=1)

1: 1 Final Storage Area 1
2: 1 Array ID

5: Real Time (P77) ; Parameter 2-4: År, dag og tid

1: 1110 Year,Day,Hour/Minute (midnight = 0000)

6: Internal Temperature (P17)

1: 21 Loc [int_temp]

7: Batt Voltage (P10)

1: 22 Loc [batt_volt]

8: Average (P71)

1: 2 Reps
2: 21 Loc [int_temp]

9: Sample (P70)

1: 10 Reps

2: 1 Loc [Res_kohm]

10: Serial Out (P96)

1: 71 SM192/SM716/CSM1

*Table 2 Program

01: 0.0000 Execution Interval (seconds)

*Table 3 Subroutines

End Program

-Input Locations-

1 Res_kohm 5 2 2

2 Res_2 9 1 1

3 Res_3 9 1 1

4 Res_4 9 1 1

5 Res_5 9 1 1

6 Res_6 9 1 1

7 Res_7 9 1 1

8 Res_8 9 1 1

9 Res_9 9 1 1

10 Res_10 9 1 1

13 Res_11 9 0 1

14 Res_12 17 0 1

15 Res_7 9 0 1

16 Res_8 9 0 1

17 Res_9 9 0 1

18 Res_10 9 0 1

19 Res_11 9 0 1

20 Res_12 17 0 1

21 int_temp 1 1 1

22 batt_volt 1 1 1

23 _____ 0 0 0

24 _____ 0 0 0

25 _____ 0 0 0

26 _____ 0 0 0

27 _____ 0 0 0

28 _____ 0 0 0

29 _____ 0 0 0

30 _____ 0 0 0

7 Res_7 9 0 1

8 Res_8 9 0 1

9 Res_9 9 0 1

10 Res_10 17 0 1

11 Res_11 9 1 1

12 Res_12 17 1 1

-Program Security-

0

0

0

-Mode 4-

-Final Storage Area 2-

0

-CR10X ID-

0

-CR10X Power Up-

0